



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**ЯКОВЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ**  
XIII Международная  
научно-техническая конференция, посвященная  
памяти академика РАН С.В. Яковлева

Сборник докладов  
(г. Москва, 15–16 марта 2018 г.)

© Национальный исследовательский  
Московский государственный  
строительный университет, 2018

ISBN 978-5-7264-1860-5

Москва  
2018

УДК 626 : 628 : 696  
ББК 38.76 : 36.77  
Я47

Я47 **Яковлевские чтения.** XIII международная научно-техническая конференция, посвященная памяти академика РАН С.В. Яковлева [Электронный ресурс] : сборник докладов. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. — Электрон. дан. и прогр. (6,8 Мб). — Москва : Издательство МИСИ–МГСУ, 2018. — Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkrdstupa/> — Загл. с титул. экрана.  
ISBN 978-5-7264-1860-5

Включены доклады XIII научно-практической конференции «Яковлевские чтения», проходившей 15–16 марта 2018 г. в Московском государственном строительном университете и посвященной памяти академика РАН Сергея Васильевича Яковлева.

Публикуемые материалы могут представлять интерес для магистрантов, аспирантов, профессорско-преподавательского состава вузов, реализующих программы высшего профессионального образования в области строительства и экологии, а также для специалистов водной отрасли.

*Научное электронное издание*

*Материалы публикуются в авторской редакции.  
Авторы опубликованных материалов несут ответственность  
за достоверность приведенных в них сведений.*

© Национальный исследовательский  
Московский государственный  
строительный университет, 2018

Ответственный за выпуск *А.П. Андрианов*

Институт инженерно-экологического строительства и механизации  
(ИИЭСМ НИУ МГСУ).  
Тел.: +7 (495) 730-62-53  
e-mail: [iesm@mgsu.ru](mailto:iesm@mgsu.ru)

Сайт: [www.mgsu.ru](http://www.mgsu.ru)  
<http://mgsu.ru/universityabout/Struktura/Instituti/IESM/kontakty/>

*Для создания электронного издания использовано:*  
Microsoft Word 2013, ПО Adobe Air

Верстка макета *Е.В. Орлова*

Подписано к использованию 25.05.2018. Объем данных 6,8 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет».  
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ–МГСУ.  
Тел.: (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.  
E-mail: [ric@mgsu.ru](mailto:ric@mgsu.ru), [rio@mgsu.ru](mailto:rio@mgsu.ru)

### **Организатор конференции:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

### **Организационный комитет:**

#### **Председатель конференции:**

**А.П. Пустовгар** – канд. техн. наук, проф., проректор по научной работе НИУ МГСУ.

#### **Сопредседатели:**

**Е.С. Гогина** – канд. техн. наук, доц., проректор по международному сотрудничеству, молодежной и информационной политике НИУ МГСУ;

**К.И. Лушин** – канд. техн. наук, директор института инженерно-экологического строительства и механизации (ИИЭСМ) НИУ МГСУ.

#### **Заместители председателя:**

**В.А. Орлов** – д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения и водоотведения (ВиВ) НИУ МГСУ;

**А.П. Андрианов**, канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВиВ) НИУ МГСУ.

#### **Члены организационного комитета:**

**Е.М. Чеботаева**, начальник Управления молодежной и информационной политики НИУ МГСУ;

**М.В. Митькина**, директор Издательства МИСИ-МГСУ;

**Н.В. Самогесова**, начальник Управления по координации международного сотрудничества НИУ МГСУ;

#### **Рабочая группа организационного комитета:**

**А.П. Андрианов**, канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВиВ) НИУ МГСУ;

**Н.А. Макиша** – канд. техн. наук, доц., директор НОЦ «ВиВ» НИУ МГСУ;

**Е.В. Орлов**, канд. техн. наук, доц. кафедры водоснабжения и водоотведения (ВиВ) НИУ МГСУ.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>К.Т. Абдылдабеков, А.Р. Рысикова, Б. Талантбек кызы, Э.Ж. Жолдошбеков.</i> Анализ качества сточных вод текстильного предприятия ..	7
<i>Е.В. Алексеев, М.И. Харьков.</i> Гидродинамические особенности процесса флотационного разделения.....	11
<i>С.Е. Алексеев.</i> О решении задач повторного использования промывных вод водопроводных станций.....	19
<i>Т.Е. Бойкова.</i> Оптимизация водоподготовки цветных природных вод.....	24
<i>Л.Г. Дерюшев, Н.Л. Дерюшева, А.А. Ерхов, Б.Н. Фрог.</i> О показателях качества воды.....	30
<i>А.А. Ерхов, Е.А. Королёва, Б.Н. Фрог.</i> Видоизменение микробиологического состава активного ила в процессе стабилизации .....	35
<i>Н.А. Залётова, Р.Ш. Непаридзе, С.В. Залётов, В.Г. Пономарёв.</i> Памяти Нины Алексеевны Лукиных (в год 100-летия со дня рождения) .....	45
<i>Е.А. Королёва, А.А. Ерхов.</i> Осадки сточных вод как сырьё для производства керамзита .....	50
<i>А.А. Кулаков.</i> Анализ малых канализационных очистных сооружений: состояние и перспективы .....	56
<i>М.А. Куцевол, А.А. Кулаков.</i> Методы интенсификации процесса уплотнения избыточного активного ила городских очистных сооружений канализации.....	60
<i>Э.С. Насырова, А.Н. Насыров, А.Н. Елизарьев.</i> Очистка малых городских водоемов от органических веществ .....	65
<i>И.И. Павлинова, О.А. Платонова.</i> Методология прогнозирования ремедиации открытых водных объектов с учетом приема ливневого стока .....	70
<i>А.А. Пелипенко, В.А. Орлов.</i> Современные материалы бестраншейной санации трубопроводов и методы их использования .....	77

<i>И.Ю. Поспелова, Д.А. Корнилов, М.Я. Поспелова.</i> Бесплотинная гидроустановка на малых стоках .....	83
<i>О.Г. Примин.</i> Системное решение проблемы снегоудаления в городе Москве .....	86
<i>М.Ю. Слесарев, Нгуен Динь Дан.</i> Прогноз распространения загрязняющих веществ в реке Тольить от створов водовыпусков.....	95
<i>С.В. Степанов, О.Н. Панфилова.</i> Извлечение ионов тяжелых металлов с использованием новых сорбционных материалов .....	104
<i>А.В. Устюжанин, В.И. Баженов.</i> Расчетные показатели жизненного цикла компрессорного оборудования .....	110
<i>В.Н. Фисенко.</i> Оценка энергоэффективности насосов в системах водоснабжения.....	116
<i>Л.И. Хохлова, И.А. Синянский, Е.В. Орлов, Д.А. Емельянова.</i> Сегодняшняя тенденция развития систем внутреннего водоснабжения и водоотведения.....	124
<i>А.А. Цымбалов.</i> Роль и обеспечение гидрогеологических условий индивидуальных водозаборов, влияющих на долговечность скважин ...	127
<i>А.А. Цымбалов.</i> Практические рекомендации к разработке гидрогеологических заключений для организации водоснабжения из подземных вод .....	131
<i>Чан Ха Куан, Е.С. Гогина.</i> Оценка применения биопленки в процессе биологической очистки бытовых сточных вод во Вьетнаме.....	134
<i>В.И. Щербаков, И.Ю. Пурусова.</i> Выбор расположения сооружений для забора подземных вод .....	140
<i>В.И. Щербаков, Б. Кулмедов, К.И. Чижик.</i> Эйхорния для очистки сельскохозяйственных дренажных вод .....	145
<i>В.И. Щербаков, Нгуен Хюи Кыонг.</i> Экономические аспекты модернизации системы водоснабжения г. Хошимин .....	151
<i>В.И. Щербаков, В.В. Помогаева.</i> Использование осадков сточных вод для выращивания сельскохозяйственных культур .....	155

## АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД ТЕКСТИЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

**К.Т. Абдылдабеков**, к.т.н., доц., Кыргызский Государственный университет строительства транспорта и архитектуры им. Н. Исанова (КГУСТА); **А.Р. Рыспкова**, магистрант, Кыргызский Государственный университет строительства транспорта и архитектуры им. Н. Исанова (КГУСТА); **Б. Талантбек кызы**, магистрант, Кыргызский Государственный университет строительства транспорта и архитектуры им. Н. Исанова (КГУСТА); **Э.Ж. Жолдошбеков**, магистрант, Кыргызский Государственный университет строительства транспорта и архитектуры им. Н. Исанова (КГУСТА), г. Бишкек (Киргизия)

В технологическом процессе текстильного производства (в красильно-отделочном цехе) образуются сточные воды со сложным, изменяющимся во времени составом. Сточные воды включают отработанные красильные и промывные растворы, которые могут иметь различную температуру, щелочную или кислую реакцию, быть интенсивно окрашенными и бесцветными, содержать высокие концентрации СПАВ. Эти сточные воды преимущественно содержат растворенные органические загрязнения, определяемые технологией крашения, промывки, карбонизации, заварки и отделки тканей; рецептурой красильных и отделочных растворов [1, 2].

Основная часть сточных вод (около 70%) на текстильных предприятиях Кыргызской Республики поступает в водоотводящую сеть текстильного комбината из отделочного производства. Сточные воды этого производства характеризуются следующими показателями:  $\text{pH} = 6,5 \div 8,9$ ; взвешенные вещества –  $60 \div 180$  мг/л, что обусловлено наличием в сточных водах продуктов гидролиза, примесей короткого волокна, шерстного жира, шлихты, отходов, применяемых реагентов и др. По своему химическому составу сточные воды отделочного производства непостоянны. Максимальное загрязнение промышленных стоков наблюдается во время отделки тканей; оно резко сокращается в период мойки технологических машин [3, 4].

Большое количество сточных вод с высокой степенью загрязнения образуется в красильном цехе и на станции химической обработки. Эти воды характеризуются следующими качественными показателями:  $\text{pH} = 7 \div 9,8$ ; взвешенные вещества –  $130 \div 280$  мг/л; ХПК –  $500 \div 804$  мг/л; СПАВ –  $26,2 \div 86$  мг/л, хром (общий) –  $2,4 \div 5,2$  мг/л.

Характерной особенностью сточных вод является непостоянство их состава, т.е. в течение отдельных часов работы комбината и смен резко изменяются температура и интенсивность окраски, концентрация ПАВ и содержание взвешенных веществ. В табл. 1. приведена характеристика сточных вод общего производственного стока комбината, а в табл. 2 – состав общего стока камвольного комбината.

В табл. 3 приведена характеристика общего стока красильного цеха текстильного комбината. Неравномерность поступления и физико-химического состава стоков от цеха крашения штапельного волокна и шерсти отражаются на составе общего стока комбината.

Таблица 1

**Характеристика сточных вод общего производственного стока комбината**

Показатели качества воды	Среднее значение
Порог запаха (по разбавлению)	1:35-1:45
Интенсивность окраски (по разбавлению до бесцветной)	1:50-1:250
Взвешенные вещества, мг/л	82-220
Сухой остаток, мг/л	800-1300
Зольность сухого остатка, %	35-56
ХПК, мг/л	240-630
БПК <sub>полн.</sub> , мг/л	90-250
pH	6,8-8,5
Азот аммонийный мг/л	22-30
Концентрация ПАВ, мг/л: анионных неионогенных	48-75 22-45

Таблица 2

**Состав общего стока камвольного комбината**

Показатели качества воды	Среднее значение
Интенсивность окраски (по разбавлению до бесцветной)	1:200
Взвешенные вещества, мг/л	150 – 200
ХПК, мг/л	360 – 460
БПК <sub>5</sub> , мг/л	135 – 160
БПК <sub>полн.</sub> , мг/л	210 – 240
pH	7,3 – 8
Азот, мг/л: общий аммонийный	20 – 35 13 – 18
Хлориды, мг/л	130 – 200

Таблица 3

**Характеристика общего стока красильного цеха комбината**

Показатели качества воды	Среднее значение	Средне-годовые данные
Интенсивность окраски (по разбавлению до бесцветной)	1:25 – 1:4200	1:600
Взвешенные вещества, мг/л	40 – 232	124
Зольность взвешенных веществ, %	13 – 73	30
ХПК, мг/л	252 – 1260	338
БПК <sub>5</sub> , мг/л	23 – 450	152
БПК <sub>полн.</sub> , мг/л	33 – 450	161
Окисляемость, мг/л	41 – 180	95
pH	3,2 – 7,3	6,2
Азот, мг/л: общий аммонийный	14 – 53 6 – 49	41 37
Фосфаты, мг/л	11 – 68	31
ПАВ, мг/л	15 – 35	20



Наиболее водоёмкой операцией является промывка. Если основная часть загрязнений сосредоточена в меньших по расходу красильных водах, то промывные, напротив, менее загрязнены и составляют более 75% от общего расхода воды на технологические нужды.

Физико-химический состав сточных вод красильно-отделочного производства по цехам и общего потока приведен в табл. 4.

Таблица 4

**Физико-химический состав сточных вод красильно-отделочного производства камвольно-суконного комбината г. Бишкек**

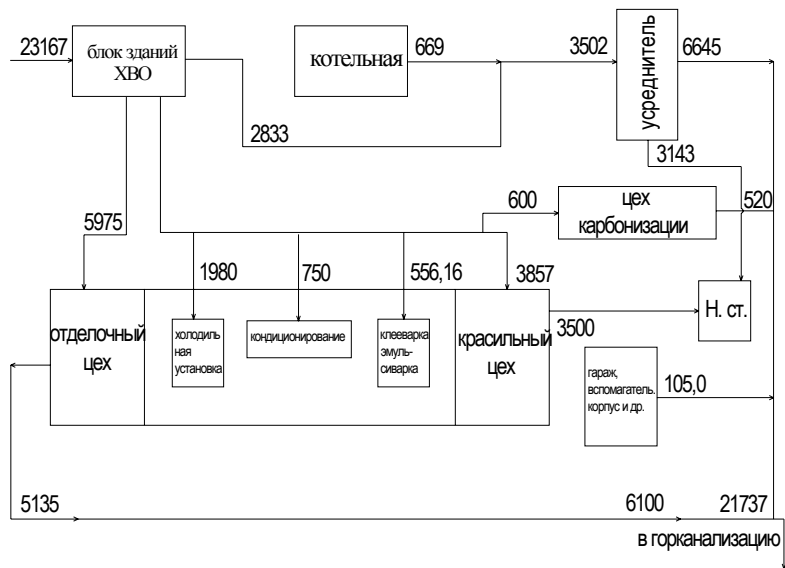
Показатели качества воды	Производства		Усреднитель	Общий сток КСК
	отделочное	красильное		
рН	6,5-8,9	6-9,8	7,4-11,2	6,8-10
Взв. вещества мг/л	65-180	130-280	100-220	90-240
Сухой остаток мг/л	800-1300	1200-1800	800-2500	800-1600
ХПК, мгО <sub>2</sub> /л	180-520	500-850	180-700	140-650
БПК, мгО <sub>2</sub> /л	96-160	240-370	95-450	70-340
Интенсивность окраски по разведению	1:50-1:110	1:1330-1:280	1:110-1:190	1:80-1:200
Азот аммонийный, мг/л	18-20	15-26	8-15	9-18
Хлориды, мг/л	67-120	86-235	90-210	120-190
Сульфаты, мг/л	220-520	233-700	120-420	100-350
Фосфаты, мг/л	7-8	4-10	3,8-8	3-7
СПАВ, мг/л	5,8-0	16,2-86	18-57,4	4-31

Несовпадение по времени сбросов сточных вод различного состава от технологического оборудования создает неравномерность их притока, концентрации и температуры. На комбинате эксплуатируется технологическое оборудование периодического и непрерывного действия. Наличие залповых сбросов связано в основном с опорожнением материальных машин и плюсовок. В связи с этим коэффициенты часовой неравномерности водоотведения колеблются от 1,1 до 2,0, а иногда доходят до 3,5.

Существующая схема водопотребления и водоотведения красильно-отделочного производства показана на рис. 1. К специфическим загрязнениям сточных вод комбината относятся красители и СПАВ. Расходы красителей колеблются в пределах 190-250 тонн в год, расходы СПАВ достигают 90-150 тонн в год.

Удельное количество сточных вод, образующихся в технологических процессах красильно-отделочного производства КСК при прямоточной системе водоснабжения, составляют в среднем 480-510 м<sup>3</sup> на тонну ткани.

Сточные воды промышленных предприятий, содержащие СПАВ и красители, должны очищаться перед спуском в городскую канализацию до нормативных требований, что направлено на обеспечение охраны водоемов от загрязнений [5, 6].



**Рис. 1.** Существующая схема водопотребления и водоотведения красильно-отделочного производства

### Библиографический список

1. Абдурасулов И. Водоснабжение и очистка сточных вод Кыргызской Республики. – Бишкек: Илим, 1993. – 449 с.
2. Ефимов А.Я., Таварткиладзе И.М., Ткаченко Л.И. Очистка сточных вод предприятий легкой промышленности. - Киев: Техника, 1985. – 232 с.
3. Абдылдабеков К.Т. Эффективность технологических процессов очистки производственных сточных вод // Вестник КГУСТА, № 4 (30). - Бишкек: КГУСТА, 2010. С.75-80.
4. Абдурасулов А.И., Абдылдабеков К.Т. Очистка сточных вод красильного производства // Известия КГТУ им. И. Раззакова № 19. – Бишкек: Текник, 2009. С. 280-285.
5. Водный кодекс Кыргызской Республики. – Бишкек: Издательство «Академия», 2010. – 58 с
6. Закон Кыргызской Республики об охране окружающей среды. – Бишкек: Издательство «Академия», 2010. – 40 с.

## ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ

**Е.В. Алексеев**, д.т.н., проф., каф. водоснабжение и водоотведение, НИУ МГСУ,  
**М.И. Харькова**, аспирант, каф. водоснабжение и водоотведение, НИУ МГСУ,  
г. Москва

Процесс флотационного разделения возник вместе с обогащением полезных ископаемых. Его значение для мировой экономики огромно. Без этого многие хорошо известные металлы и неорганическое сырье были бы чрезвычайно дефицитными и дорогостоящими. Он также нашел широкое применение для извлечения металлов из широкого спектра потоков отходов тяжелого металла [1, 2].

На эффективную работу флотационного резервуара важное влияние оказывают ряд факторов: конструкция камеры, время смешения, мертвые зоны, где вещество задерживается или выносится с воздухом либо пульпой, покидающей камеру слишком рано. Все эти проблемы, называемые неидеальным потоком, приводят к низкой производительности.

Структура внутреннего потока важна при моделировании химических реакций. Характеристики жидкости, перегородки и импеллер относятся к числу факторов, влияющих на структуру течения. Внутри камера разделена на зоны идеального и неидеального течения [3].

В идеальных камерах процессы переноса и смешивания могут быть описаны математически, в отличие от реальных, в которых процессы переноса являются только приблизительно известными и должны быть смоделированы.

Флотационный резервуар можно разделить на две основные зоны: зона реакции и зона флотации. В зоне реакции пузырьки контактируют с входящей загрязненной водой и соединяются с загрязнениями. В зоне флотации агрегаты «пузырьки – частицы» поднимаются, достигая разделения. В правильно работающем флотационном резервуаре в обеих зонах не образуются осаждающиеся частицы [4].

Размер пузырька играет важную роль при флотации [2]; пузырьки, полученные при электрофлотации, имеют средний диаметр около 50 мкм при нормальных условиях эксплуатации с горизонтально расположенными электродами из нержавеющей стали [5]. В работе [1] большое внимание уделяется размеру пузырька, несмотря на то, что в большинстве случаев много внимания было уделено размеру частиц. Однако, особые методы генерации пузыря используют мелкие пузырьки, как в электрофлотации.

Исследования в области гидродинамической кавитации для восстановления природных ресурсов был рассмотрен в [4]. Взаимодействие между мелкими пузырьками и мелкими частицами в водной суспензии были проанализированы на основе поверхностных свойств частиц и типов газовых ядер. У маленьких пузырьков, порожденных кавитацией, был увеличен угол контакта и силы притяжения, соединяющие мелкие частицы в агрега-

ты, тем самым было минимизировано шламовое покрытие, удалены поверхностные слои окисления, и снижен расход реагента.

Комплексная модель, включающая модель полного смешения зон последовательно, которая допускала как прямой, так и обратный поток между зонами, была использована для описания жидкофазного смешения в стандартной флотационной колонне (для минерального обогащения) [8, 9]. Модель описывалась двумя параметрами: количеством зон и коэффициентом, выражающим отношение обратного к прямому потокам. Степень смешивания в газожидкостной флотационной колонне зависит от относительной величины потоков газа и жидкости и влияет на производительность.

В работе [4] была разработана расчетная динамическая модель потока, включающая кинетические выражения флотации, для имитации характеристик флотационных резервуаров. При моделировании были выявлены основные характеристики пневматической флотации, а именно, определение ее локальных скоростей. В этом исследовании основное внимание уделяется резервуарам, которые работают без внешнего смешения потока, таких как DAF-резервуары, где плавучесть пузырьков, осаждение частиц и турбулентность влияют на локальную скорость флотации; В Денвер-типе флотационной камеры с диспергированным воздухом турбулентность оказывает большое влияние из-за интенсивного смешивания, накладываемого импеллером, поэтому гравитационные / плавучие эффекты можно игнорировать.

### Гидродинамические предпосылки

В правильно работающем флотационном резервуаре в обеих зонах не образуются осаждающиеся частицы. Неисправность может возникнуть, если резервуар работает с пузырьками большего размера, чем с теми, для которых он был разработан [9]. Несмотря на положительное влияние турбулентности на процесс флотации, не было единого подхода к моделированию флотации в турбулентном потоке.

При работе оборудование всегда отклоняется от идеальных моделей потока. Отклонение от двух идеальных моделей может быть вызвано направлением, рециркуляцией или застойными областями [10].

Простейшим типом является реактор с поршневым потоком. Скорость потока везде постоянна. Это справедливое приближение в простом канале или трубе. Поток штока позволяет определить время пребывания ( $\tau$ ), величина которого постоянна для каждого направления потока, поскольку скорость постоянна, а длина канала одинакова для всех направлений потока.

$$\tau = \frac{Q}{V} \quad (1)$$

где  $V$  – объем реактора,  $Q$  – расход.

Идеальные реакторы со смешанным потоком возникают, когда компоненты поступают в реактор отдельно. Их выход постепенный, отсутствует время пребывания, это скорее распределение времени пребывания [10]. Рециркуляционные резервуары, в которые подается воздух, представляют собой идеальные реакторы со смешанным потоком.

Реальные реакторы представляют комбинацию двух идеальных типов потоков, обусловленных объемом пустот, рециркуляцией, перепуском и направлением. Подход к неидеальному течению осуществляется по эмпирическим и теоретическим математическим моделям. Чаще всего встречаются однопараметрические эмпирические модели.

Модель осевой дисперсии (axial dispersion model). Модель осевой дисперсии доказывает, что смешение происходит из-за отклонения от идеально пульсирующего потока, вызванного отклонениями на фронте потока [10]. Подобно уравнению диффузии Фика для концентрации,

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - u \frac{\partial C}{\partial x} \quad (2)$$

где  $D$  – коэффициент осевой дисперсии,  $x$  – линейный размер,  $u$  – скорость жидкости.

Он обычно записывается в безразмерной форме,

$$\frac{\partial C}{\partial \theta} = N_d \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{\partial C}{\partial z} \quad (3)$$

где  $N_d$  – безразмерное число дисперсии ( $N_d = D / uL$ ),  $L$  – длина резервуара,  $z$  – безразмерная линейная величина и  $\theta$  – безразмерное время.

Альтернативой модели осевой дисперсии, является модель последовательного соединения камер (tanks-in-series model), в которой камера или несколько камер рассматриваются как зона наилучшего смешения. Данная модель проста, использует разную кинетику и приспособлена к любому расположению отделений.

Значение времени пребывания определяется

$$\tau = \frac{\sum_i^n t_i C_i \Delta t_i}{\sum_i^n C_i \Delta t_i} \quad (4)$$

где  $t$  – время и  $C$  – электропроводимость,  $E_t$  равно

$$E_t = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n C_i \Delta t_i} \quad (5)$$

Безразмерная форма является стандартной, поэтому время  $t$  и функция  $E_t$  определяются

$$E_g = \tau E_t \quad (6)$$

$$\theta = \frac{t}{\tau} \quad (7)$$

Поскольку поток в реальной системе представляет собой комбинацию двух идеальных типов, он аппроксимируется и модель сравнивается с экспериментом. Если результаты не сильно отличаются друг от друга, модель правильно описывает реальную систему. Если они отличаются, применяется другая модель (рис. 3).

### Моделирование процесса флотации [11]

Гидродинамика флотационной камеры во многом определяет результаты процесса, поэтому ее описание является составной частью математической модели. Для решения практических задач, связанных с моделированием и расчетом флотационных аппаратов, необходимо знать, какая гидродинамическая обстановка образуется в камере при тех или иных конструктивных параметрах.

Существуют два подхода к изучению гидродинамики флотатора: первый заключается в определении поля скоростей жидкости в камере флотации, второй – в построении распределения по времени пребывания частиц жидкости в ней.

При рассмотрении гидродинамики основным инструментом в исследованиях является решение фундаментальных физических уравнений, которые в общей и наиболее простой форме объединены в систему Навье-Стокса:

$$\rho \frac{dv}{dt} = \rho g - \nabla p + \mu \nabla^2 v \quad (8)$$

где  $\rho$  – плотность среды,  $v$  – вектор скорости,  $t$  – время,  $g$  – вектор ускорения свободного падения,  $p$  – давление,  $\nabla$  – оператор Гамильтона.

Уравнения движения жидкости под действием определенных сил и при определенных условиях можно представить в двух различных формах [12]. Выбор формы уравнений зависит от цели исследований. Если целью является определение скорости, давления и плотности во всех точках среды, то форма уравнений соответствует, так называемому, эйлерову подходу. Если целью исследований является определение траектории каждой «жидкой» частицы, то форма уравнений соответствует лагранжеву подходу.

Уравнения движения жидкости Эйлера имеют вид:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} &= X - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \\
\frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} &= Y - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} \\
\frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} &= Z - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z}
\end{aligned} \tag{9}$$

Уравнение движения жидкости по Лагранжу:

$$\begin{aligned}
\left( \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} - X \right) \frac{\partial x}{\partial a} + \left( \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - Y \right) \frac{\partial y}{\partial a} + \left( \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} - Z \right) \frac{\partial z}{\partial a} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial a} \\
\left( \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} - X \right) \frac{\partial x}{\partial b} + \left( \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - Y \right) \frac{\partial y}{\partial b} + \left( \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} - Z \right) \frac{\partial z}{\partial b} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial b} \\
\left( \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} - X \right) \frac{\partial x}{\partial c} + \left( \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - Y \right) \frac{\partial y}{\partial c} + \left( \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} - Z \right) \frac{\partial z}{\partial c} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial c}
\end{aligned} \tag{10}$$

В приведенных уравнениях  $v_x, v_y, v_z$  – компоненты вектора скорости в точке  $(x, y, z)$  в момент времени  $t$ ,  $\rho$  – плотность жидкости,  $p$  – давление,  $(X, Y, Z)$  – приведенные компоненты внешних сил,  $(a, b, c)$  – начальные координаты отдельной «жидкой» частицы. Для многофазных систем понятие фазы более широко, чем отождествление ее с одним из агрегатных состояний вещества – газообразным, жидким или твердым. В общем случае, количество фаз неограниченно. Каждая из них должна соответствовать определенным отличительным признакам. Этими признаками являются свойства различной природы, ответственные за характер взаимодействия одной фазы с другими фазами, с потоком в целом и со сторонними воздействиями на поток [13].

### Лабораторные исследования гидродинамических характеристик

В работе [14] во флотационной колонне в лаборатории при помощи высокоскоростной фотосъемки изучалось движение одиночного пузырька и распределение пузырьков в присутствии поверхностно-активных веществ. Поверхностно-активное вещество распределялось неравномерно по восходящей поверхности пузырьков, вызывающей эффект Марангони, что замедляет деформацию пузырьков и увеличивает сопротивление.

Важность горизонтальных моделей потока и агрегации для улучшения удаления пузырьков при обработке питьевой воды была изучена с использованием моделирования вычислительной гидродинамики (CFD modeling). Многослойный поток (на определенном уровне между газовой и жидкой

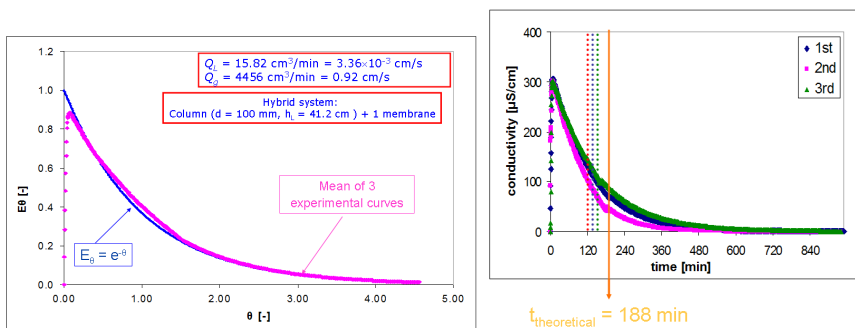
фазой соответственно сверху или снизу) улучшает эффективность флотации. Модели оценивались с использованием измерений распределения времени пребывания, положения пузырькового слоя и эффективности контакта пузырьков-частиц [15].

Работа [10] была посвящена проведению серии испытаний и моделирования для оценки эффективности агрегации с использованием траекторного анализа для оценки чувствительности модели к размеру и дзета-потенциалу при проектировании и эксплуатации для напорной флотации для различных сточных вод. Эффективность агрегации частиц с пузырьками была описана гидродинамикой потока по Стоксу и поверхностными силами на основе классической теории ДЛФО и численного анализа.

В исследовании [16] для изучения гидродинамики пузырьков в периодическом и непрерывном режимах также использовалась электрофлотационная колонна. С помощью модельных решений была принята видеозапись и обработка изображений. Исследована модифицированная флотационная обработка нефтесодержащих сточных вод, содержащих анионное поверхностно-активное вещество при критической концентрации мицелл [17]. Для контроля эффективности использовалась межфазная область, полученная с помощью гидродинамических параметров пузырьков и градиента скорости.

### Экспериментальное исследование времени пребывания

В работах [5, 18] было проведено исследование гидродинамики электрофлотации, на основании которого можно сделать вывод, что эффективность процесса будет определяться распределением времени пребывания. Использовалась методика стимулирования реакции. Была применена теоретическая многопараметровая модель (Levenspiel), состоящая из взаимосвязанных потоков воды, обратной смеси обводным, рециркуляционным и поперечным потоком через и вокруг этих областей.

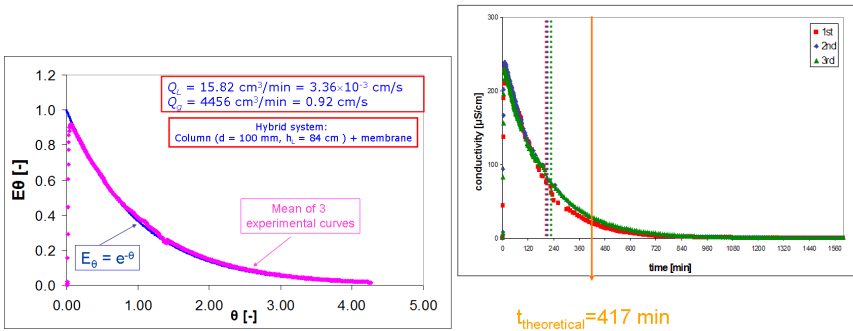


**Рис. 1.** Зависимость электропроводности от времени пребывания в комбинированной камере. ( $L/D = 4$ )  $QL = 15.82 \text{ см}^3 \text{ мин}^{-1}$ ,  $Qg = 4456 \text{ см}^3 \text{ мин}^{-1}$ ,  $hL = 41.2 \text{ см}$ ,  $\tau = 188 \text{ мин}$ .



## Условия эксперимента

Внутренний диаметр колонны	10 см.
Начальная высота жидкости	39,7 и 84 см.
Жидкий расход (QL)	15,82 см <sup>3</sup> мин <sup>-1</sup>
Поверхностная скорость жидкости (u <sub>l</sub> )	3,36 x 10 <sup>-3</sup> см*с <sup>-1</sup>
Расход воздуха (Qg)	4456 см <sup>3</sup> * мин <sup>-1</sup>
Поверхностная скорость воздуха (u <sub>G</sub> )	0,95 см *с <sup>-1</sup>
Окончательная высота воздушно-жидкой смеси	41,2 и 88 см
Удержание газа (φG)	4,8%



**Рис. 2.** Зависимость электропроводности от времени пребывания в комбинированной камере. ( $L/D = 8$ )  $QL = 15.82 \text{ см}^3 \text{ мин}^{-1}$ ,  $Qg = 4456 \text{ см}^3 * \text{ мин}^{-1}$ ,  $hL = 84 \text{ см}$ ,  $\tau = 417 \text{ мин}$ .

На рис. 1 и 2 сравниваются средние экспериментальные данные и теоретические кривые. В обоих случаях экспериментальные данные описываются теоретической кривой;

## Заключение

Минеральные, металлические значения и побочные продукты могут быть отделены путем флотационного разделения. Была описана перспективная новая комбинированная камера, в основном фокусирующаяся на гидродинамике, влияющей на ее работу. Также было рассмотрено моделирование процесса флотации и разные модели потока.

## Библиографический список

1. Matis K.A. (Ed.), Flotation Science and Engineering, Marcel Dekker, New York, 1995: (a) Matis, K.A.; Zouboulis, A.I. An overview of the process, pp. 1-44; (b) The role of bubble/ particle size, pp. 63-87.

2. Matis K.A.; Gallios G.P.; Kydros K.A., Separation of fines by flotation techniques, *Sep. Tech.*, 1993, 3, 76-90.
3. Mavros P., Mixing and hydrodynamics in flotation cells, In: Mavros P., Matis K.A. (Eds.), *Innovations in Flotation Technology*, Kluwer Academic, Dordrecht, 1992, pp. 211-234.
4. Kostoglou M., Karapantsios T.D.; Matis K.A., CFD model for the design of large scale flotation tanks for water and wastewater treatment, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2007, 46, 6590-6599.
5. Matis K.A., Peleka E.N., Alternative flotation techniques for wastewater treatment: focus on electroflotation, *Sep. Sci. Tech.*, 2010, 45, 2465-2474.
6. Zhou Z.A., Xu Z., Finch J.A., Masliyah J.H., Chow R.S., On the role of cavitation in particle collection in flotation – A critical review. II, *Miner. Eng.*, 2009, 22, 419-433.
7. Mavros P., Lazaridis N.K., Matis K.A., A study and modelling of liquid phase mixing in a flotation column, *Int. J. Miner. Process.*, 1989, 26, 1-16.
8. Matis K.A., Mavros P., Foam / froth flotation : Part II. Removal of particulate matter, *Sep. Purif. Methods*, 1991, 20(2), 163-198.
9. Emmanouil V.A., Karapantsios T.D., Matis K.A., Two-and threephase simulations of an ill-functioning dissolved-air flotation tank, *Int. J. Envir. Waste Management*, 2011, 8(3/4), 215-228.
10. Kwak D.-H., Kim M.-S., Evaluation of model simulation and field experiment on collision-attachment efficiency for operational factors in dissolved air flotation process, *Sep. Sci. Tech.*, 2013, 48, 2243-2251
11. Алексеев Е.В., Харьковская М.И. Подходы к технологическому моделированию флотаторов для очистки воды. /Е.В. Алексеев, М.И. Харьковская //Международный научно-исследовательский журнал. Екатеринбург. 2017.- № 03(57).- С.106-109.
12. Ламб Г. Гидродинамика. – М.Л.: ОГИЗ, гос. изд. техн-теор. лит, 1947. – 928 с.
13. ANSYS Fluent «Theory Guide», Release 12.1 ANSYS, Inc. 2009.
14. Li Y., Zhu T., Liu Y., Tian Y., Wang H., Effects of surfactant on bubble hydrodynamic behavior under flotation-related conditions in wastewater, *Water Sci. Tech.*, 2012, 65.6, 1060-1066.
15. Lakghomi B., Lawryshyn Y., Hofmann R., Evaluation of flow hydrodynamics in a pilot-scale dissolved air flotation tank: a comparison between CFD and experimental measurements, *Water Sci. Tech.*, 2015, 72.7, 1111-1118.
16. Ksentini I., Mansour L.Ben, Modeling the hydrodynamic of a electroflotation column for the treatment of industrial wastewaters, *Desalin. Wat. Treatment*, 2015, 56(7), 1722-1727.
17. Painmanakul P., Sastaravet P., Lersjintanakarn S., Khaodhiar S., Effect of bubble hydrodynamic and chemical dosage on treatment of oily wastewater by induced air flotation process, *Chem. Eng. Res. Des.*, 2010, 88, 693-702.
18. Matis K.A.: (a) Nonideal flow and its application to flotation, *Chim. Chron. (New Ser.)*, 1982, 11(1), 51-58; (b) Bubble measurements in electrolytic flotation (Short paper), *ibid.* 1980, 9(1), 71-76.

## О РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫВНЫХ ВОД ВОДОПРОВОДНЫХ СТАНЦИЙ

С.Е. Алексеев, к.т.н., доц., каф. водоснабжение и водоотведение, НИУ МГСУ, г. Москва

Современное природоохранное законодательство существенно ограничивает возможности сброса в водные объекты загрязненных промывных вод фильтров и осадков с водопроводных очистных сооружений. Рекомендации, нормы проектирования и технические решения по обработке и использованию промывных вод, разработаны и существуют в типовых и индивидуальных проектах, однако фактически очистка и последующее их использование осуществляется лишь на небольшом количестве водопроводных очистных станций (ВОС). На других же станциях в России эти сооружения не эксплуатируются или отсутствуют. Особенно актуальным представляется решение этой проблемы для водопроводных станций крупных городов, особенно когда промывные и шламовые воды отводятся в водный объект. Такая ситуация создает ошутимое негативное влияние на поверхностные водоисточники с точки зрения внесения загрязнений антропогенного характера [1, 2, 3]. Так, например, для ВОС, использующих воду поверхностного водоисточника, условной производительностью 100 тыс. м<sup>3</sup>/сут., масса сбрасываемого алюминия в пересчете на Al<sup>3+</sup> может составлять от 20 до 100 т/год, а флокулянта в пересчете на полимер – от 3 до 10 т/год. Организации, эксплуатирующие ВОС, несут существенные риски, связанные с предъявлением многомиллионных штрафов за сбросы и ограничения в получении лицензии на водопользование. В ряде случаев проблему решают путем очистки промывных вод для их использования [5, 6].

На многих ВОС имеются сооружения для обработки и повторного использования промывных вод фильтров (ПВФ), но по разным причинам они не эксплуатируются. Иногда службы эксплуатации ВОС отмечают снижение качества очищенной воды по остаточному алюминию, мутности и микробиологическим показателям в случае подмеса к обрабатываемой исходной воде отстаиванных ПВФ, однако, чаще это связано с работой станции не в оптимальных режимах обработки исходных вод и осветления промывных вод [6].

Исследования и решение задачи по созданию технологии и повторного использования ПВФ были проведены специалистами НИИ КВОВ и МГСУ на многих водопроводных станциях: в гг. Калуга, Ярославль, Ижевск, Омск, Архангельск, Киров, Сыктывкар и др. [2, 6]. Близкие по задачам исследования проводились и другими специалистами на различных станциях [4, 5, 7, 8].

Технология возврата ПВФ осуществляется на Северной и Западной водопроводных очистных станциях г. Москвы. Сооружения для повторного использования промывных вод эксплуатируются на станциях в гг. Тихвин и Череповец. Комплексная очистка ПВФ и обработка осадков на обезвожи-

вающем оборудовании осуществляется на водопроводных станциях гг. Вологды, Уфы, Екатеринбурга и некоторых других.

Комплексное решение задачи ликвидации сброса неочищенных ПВФ и осадков в водоисточник в части технологических изысканий и разработки технологии был осуществлен нами для водопроводных очистных сооружений г. Омска.

Источник водоснабжения г. Омска река Иртыш, очистка воды осуществляется на ВОС проектной производительностью 610 тыс.м<sup>3</sup>/сут. На момент начала проведения технологических исследований, промывные воды отводилась в резервуар-усреднитель, а затем перекачивалась в смеситель одного из 2-х блоков. Размер резервуаров не позволял принять весь объем промывных вод от всех фильтров в определенные периоды года, значительная часть промывной воды сбрасывалась в р. Иртыш без очистки. Для ликвидации сброса неочищенных промывных вод в водоисточник ОАО «ОмскВодоканал» было принято решение разработать технологический процесс повторного их использования на водопроводной станции, с последующим проектированием и строительством блока обработки промывных вод.

Основной задачей проведения предпроектных технологических изысканий являлось определение оптимальных условий и методов очистки ПВФ, а также влияния количества и качества промывных вод на основной процесс очистки речной воды.

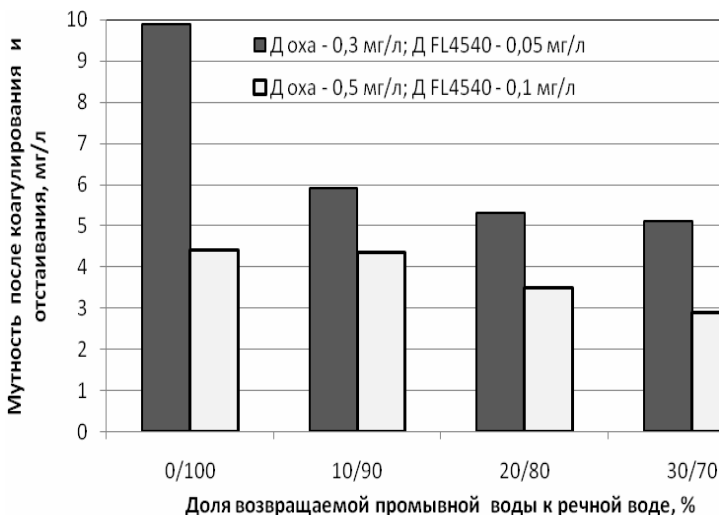
Исследования выполнялись по двум вариантам: безреагентная и реагентная очистка ПВФ, и оптимизация процесса совместной обработки речной воды и ПВФ на водопроводных сооружениях станции.

Для исследований брали исходную речную воду и натуральную промывную воду скорых фильтров станции. Эксперименты выполнялись в характерные периоды года. Исследования влияния качества и количества промывных вод при совместной их обработке с речной водой на процесс водоподготовки, проводили в тех же условиях, что и при очистке речной воды. В речную воду добавляли, как предварительно осветленную промывную воду (отстоянную в течение 1 часа), так и неосветленную промывную воду. Применяли дозы и виды реагентов, используемые на водопроводной станции в период исследований. Основным показателем качества воды, характеризующим работу очистных сооружений и влияющим на качество промывной воды от фильтров, является мутность отстоянной воды, которая зависит не только от эффективности работы отстойников, но и от процесса коагулирования [7].

Среднегодовая мутность отстоянной воды на сооружениях составляет 3,03...4,7 мг/л, в период паводка она возрастает до 5,6...7,8 мг/л. Минимальное значение мутности осветленной воды отмечается в летний период. Средняя эффективность осветления воды в отстойниках составляет 60-74%, минимальная – 11% в холодные периоды года при малой мутности речной воды и низких дозах реагентов, максимальная – 82% в паводок и летом.

Результаты исследований показали, что при добавлении в исходную речную воду, предварительно отстаивную ПВФ в количестве 0...30% от общего объема обрабатываемой воды, эффективность осветления повышается. При этом, чем больше количество добавляемой промывной воды, тем выше эффективность очистки, и достигает 62% при оптимальном подборе доз коагулянта и флокулянта.

Иные результаты получены при совместной очистке речной воды и неочищенной ПВФ (рис. 1). При дефицитных дозах реагентов (ОХА – 0,3 мг/л и FL-4540 – 0,05 мг/л) мутность речной воды после отстаивания уменьшается только до 9,85 мг/л, а эффективность очистки речной воды смешанной с промывной достигает 45...47% и практически не зависит от доли промывной воды.



**Рис. 1.** Изменение мутности при совместном коагулировании и отстаивании речной воды и неочищенной промывной воды фильтров

При дозах коагулянта и флокулянта близких к оптимальным (ОХА – 0,5 мг/л и FL-4540 – 0,1 мг/л) мутность речной воды после отстаивания уменьшается до 4,35 мг/л, а эффективность очистки с увеличением количества добавляемой неочищенной ПВФ повышается до 33%.

В зимний период эффективные дозы применяемых реагентов были значительно меньше, чем в другие периоды, но тенденция увеличения эффективности очистки воды при совместной обработке речной воды и ПВФ воды сохранялась.

Проведенные предпроектные технологические исследования показали, что промывные воды от фильтров на водопроводной станции ЛОВС, образующиеся при очистке воды с использованием реагентов характеризуются высокой эффективностью осветления при отстаивании, мутность отстаив-

ной воды составляет 3,0...4,7 мг/л. Возврат и повторное использование промывных вод от фильтров в количестве от 10 до 30% в «голову» сооружений и совместная их обработка с исходной речной водой улучшает процесс очистки: так мутность осветленной воды после отстойников уменьшается в 1,5...2 раза, а фильтрованная вода отвечает всем требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01. Результаты технологических исследований позволили рекомендовать для данных водопроводных очистных сооружений использование промывных вод от фильтров без очистки. Приведенные результаты не могут лежать в основе универсальной рекомендации по обработке ПВФ, требуется проведение соответствующих изысканий для каждого отдельного водоисточника и ВОС [7, 8].

На основании выполненных нами технологических изысканий и предложенных принципиальных технологических решений проектной организацией ООО «СибАкваСтрой» при участии ООО «РВК-консалтинг» и специалистов ОАО «ОмскВодоканал» и ООО "РОСВОДОКАНАЛ" была разработана и выполнена проектная документация для строительства сооружений повторного использования промывных вод водопроводной станции г. Омска. В феврале 2015 г. сооружения повторного использования промывных вод фильтров были введены их в эксплуатацию.

По данным 2017 года, объем возвращаемой промывной воды составлял от 12% до 17%. Дозы коагулянта, флокулянта и хлора на данных очистных сооружениях по данным эксплуатации практически не изменились по сравнению с аналогичными периодами годов до ввода в эксплуатацию сооружений повторного использования промывных вод.

Среднемесячные значения мутности воды, осветленной в отстойниках блока сооружений работающего на смеси речной и возвращаемой промывной воды за 2017 год находились в диапазоне 1,5...3,8 мг/л. А среднемесячные показатели воды подаваемой в город находились в пределах: мутность – 0,06...0,13 мг/л, цветность – 1...4 град. Результаты микробиологических исследований по показателям ОМЧ, ОКБ, ТКБ и сульфитредуцирующие клостридии показали, что в ПВФ данные микробиологические загрязнители отсутствуют. Качество очищенной питьевой воды по микробиологическим показателям соответствовало требованиям в течение всего периода наблюдений.

## **Выводы**

Выполненные технологические изыскания показали, что промывные воды от фильтров можно возвращать в «голову» ВОС в количестве до 30% от общего объема обрабатываемой на сооружениях. При этом эффективность очистки воды в отстойниках повышается, а качество очищенной питьевой воды по всем показателям, включая микробиологические, удовлетворяет требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01.

По результатам изысканий была разработана технологическая схема и выполнены проектные решения по сооружениям очистки и повторного ис-

пользования промывных вод фильтров и сбросных вод отстойников на ВОС г. Омска.

Успешная промышленная эксплуатация блока повторного использования ПВФ на протяжении 3-х лет подтвердила правильность предложенных технологических и проектных решений.

Введение в эксплуатацию блока повторного использования ПВФ на ВОС г. Омска позволило на 9-16% снизить забор воды из реки и ликвидировать сброс промывных вод фильтров в р. Иртыш в объеме 36...51 тыс.м<sup>3</sup>/сут в зависимости от периода года.

#### Библиографический список

1. Primin O. G. The Problems of the Existing Condition of Russian Water Supply and Wastewater Disposal Systems // *Clean Water: Problems and Solutions*. Moscow, 2012, Journal 3-4, pp. 40-48.

2. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П. Обработка промывных вод фильтров водоочистных станций // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2005. № 8. С. 25-31.

3. Pupyrev E.I., Primin O.G. The Water Sector of Russia: Problems and Solutions // *The Housing and Utility Complex of Russia*. Journal AST Publishing House (Moscow, Moscow Polygraph House), 2012, Vol. 5, pp. 8-12.

4. Skolubovich Y. Voytov E., Skolubovich A., Ilyina L. Cleaning and reusing backwash water of water treatment plants // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* Octo-ber 2017, 90(1):012035. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/320845683> Accessed: Mar 09 2018.

5. Кузнецов В.Н. Возврат промывной воды и обработка осадков Западной фильтровальной станции Екатеринбург // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2015. № 11. С. 28-32.

6. Алексеева Л.П., Алексеев С.Е., Курова Л.В. Оптимизация процессов очистки воды малозагрязненных источников водоснабжения // *Водоснабжение и санитарная техника*. – 2014. - № 9. – С. 10-20.

7. Пазенко Т.Я., Колова А.Ф. Обработка промывных вод фильтров водоподготовки // *Известия вузов. Строительство*. 2010. № 9. С. 65 – 68.

8. Максимова С.В. и др. Очистка и утилизация промывных вод скорых фильтров водопроводных станций на реках Западносибирской равнины / С.В. Максимова, А.В. Пешева, О.И. Зосуль, А.Ю. Коева, А.О. Настенко // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 1. С. 204.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ВОДОПОДГОТОВКИ ЦВЕТНЫХ ПРИРОДНЫХ ВОД

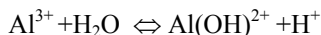
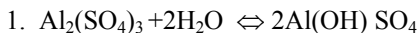
**Т.Е. Бойкова**, ст. препод., каф. «Физика и инженерная защита среды», Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск

Источниками водоснабжения Архангельской области являются поверхностные водоемы: реки Солза, Северная Двина, Вычегда. В силу климатических особенностей (низкие температуры, низкий уровень инсоляции) вода северных рек характеризуется пониженной способностью к биологическому самоочищению. У воды высокая цветность (до 200 °ПКШ в период паводка) при малой мутности, от 0,5 до 30 мг/л, низкой щелочности и температуры (1-3 °С 8 месяцев в году). Основной группой веществ, обуславливающих цветность воды, являются органические гуминовые вещества. Интенсивность окраски воды и устойчивость ее находятся в прямой зависимости от концентрации этих веществ. Приведенная характеристика качества воды источников показывает, что подготовка воды требует проведения коагулирования, флокулирования, стабилизации.[8]

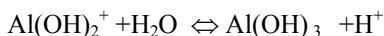
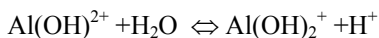
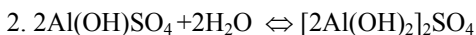
Один из основных способов обработки природной воды – метод коагуляции. В качестве реагентов используются минеральные соли, чаще всего сульфат алюминия [11]. К сожалению, сульфат алюминия, используемый на водоподготовительных сооружениях Архангельской области, не всегда дает удовлетворительные результаты очистки.

На первой стадии вода из источника проходит грубую очистку от механических примесей, затем, осветление и обесцвечивание в отстойниках с последующей фильтрацией. Все очистные сооружения спроектированы в 60-ые годы двадцатого века, морально и физически устарели, и вода на выходе из сооружений часто не соответствует современным требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01. Содержание остаточного алюминия в обработанной воде иногда свыше 0,5 мг/л (при ПДК 0,2 мг/л и цветность выше 20 °ПКШ (платиново-кобальтовой шкалы).

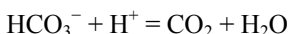
Чтобы добиться требуемых показателей, приходится завышать дозу коагулянта по сравнению с рекомендациями СНИП. Естественно, это приводит к увеличению стоимости, повышению риска роста остаточного алюминия в воде. При добавлении в воду солей алюминия происходит гидролиз молекул, при этом образуется малорастворимое соединение гидроксид алюминия. Поскольку в результате гидролиза образуются ионы  $H^+$ , то раствор такой соли имеет  $pH < 7$ . Соли многоосновных оснований гидролизуются ступенчато, причем протекает наиболее полно первая ступень гидролиза:



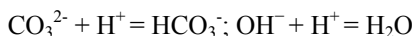




Органические примеси из воды, обуславливающие ее цветность, адсорбируются на поверхности хлопьев осадка гидроксида алюминия, который образуется на третьей ступени гидролиза данного электролита. Поскольку, как видно из уравнений химических реакций, при гидролизе pH сдвигается в кислую сторону, а образующийся гидроксид алюминия-амфотерный по характеру и растворяется в кислой среде, необходимо поддерживать оптимальный уровень pH. Это достигается либо за счет щелочного резерва воды:



Либо добавлением щелочных реагентов  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :



Однако, как показывает практика, подщелачивание и повышенные дозы коагулянта серноокислого алюминия не приводят к успешному результату.

Наиболее простым и надежным способом модернизации технологического процесса водоочистки является повышение эффективной и надежной работы очистных сооружений при использовании современных реагентов. Для мирового уровня актуально использование сложных высокомолекулярных реагентов (коагулянтов и флокулянтов) с точными характеристиками и селективными свойствами. Но есть специфика – под каждую природную воду со своими особенностями и показателями необходимо подбирать технологию подготовки и диапазон рабочих концентраций. В работе проводится исследование эффективности современных реагентов, которые могут обеспечить необходимое качество воды.

Сравнивались реагенты по эффективности, влиянию pH на эффективность, снижению цветности, скорости образования и осаждения хлопьев. Применяемые коагулянты: серноокислый алюминий (СА), полиоксихлорид алюминия с содержанием основного вещества  $\text{Al}_2\text{O}_3$  30% (ПОХА), Ferix на основе серноокислого железа, UltraPAC V-1 и UltraPAC V-2 различных плотностей и PAX с содержанием основного вещества  $\text{Al}_2\text{O}_3$  17% (на основе полиоксихлорида алюминия).

Вода для исследования отбиралась из рек Северная Двина, Солза, Вычегда в районе водозабора водоочистных сооружений в период паводка, сентябрь-октябрь 2017 года. Измерялись цветность исходной воды, фотоколориметрическим методом,  $\lambda = 380$  нм, спектрофотометр ЮНИКО 1201; pH pH-метром-потенциометром, ХПК арбитражным методом. Цветность составила 150 °ПКШ; pH = 7,03; ХПК = 56 мг $\text{O}_2$ /л; взвешенные вещества 46 мг/л.

Эксперимент проводили по методике пробной коагуляции. В профильтрованной пробе измеряли цветность, рН, содержание взвешенных веществ, ХПК. Эффективность осветления рассчитывали по разности между исходной и цветностью пробы, в процентах. Результаты эксперимента представлены в табл. 1, 2, и на рис. 1.

Таблица 1

**Изменение рН в зависимости от дозы и марки коагулянта**

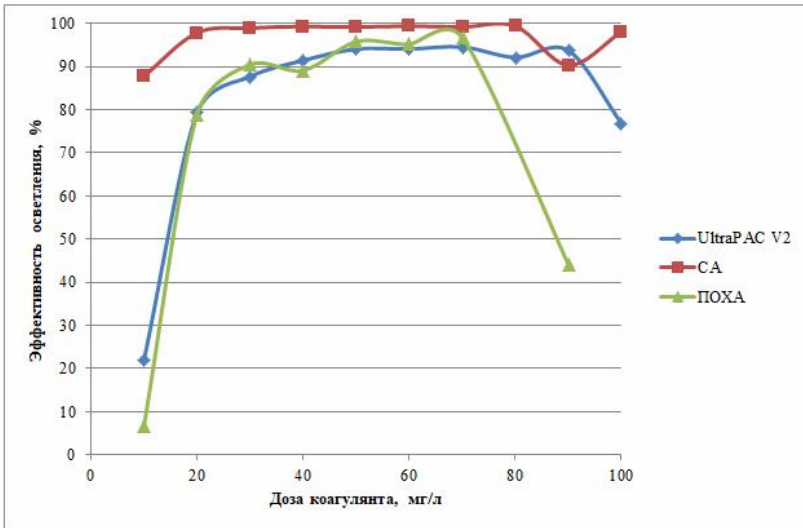
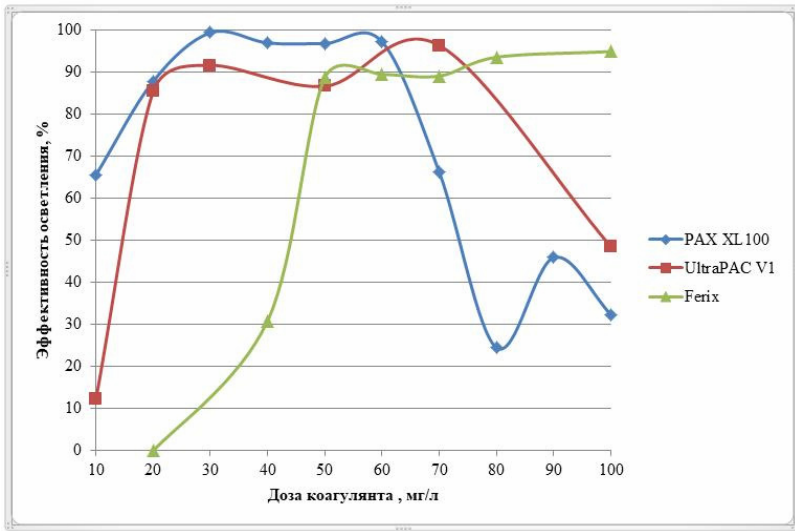
№ опыта	Доза коагулянта, мг/л	Название коагулянта					
		ПОХА	Ultra PAC 30V1	Ultra PAC 30V2	PAX XL100	Ferix	СА
1	10	6,86	6,86	6,88	7,00	-	5,87
2	20	6,52	6,51	6,54	5,84	6,25	5,02
3	30	6,31	6,42	6,40	5,72	-	4,60
4	40	5,97	6,30	6,14	4,93	5,67	4,51
5	50	5,89	6,10	6,01	4,54	5,05	4,48
6	60	5,69	5,90	5,82	4,67	4,32	4,42
7	70	5,50	5,82	5,77	4,36	3,36	4,28
8	80	-	5,14	5,37	4,17	3,28	4,27
9	90	5,26	-	5,53	4,66	-	4,41
10	100	-	5,22	5,31	4,12	3,12	4,34

По результатам испытаний можно сделать вывод, что при добавлении коагулянтов марок PAX XL100, Ferix, СА рН исходной воды значительно падает, и требуется подщелачивание.

Таблица 2

**Цветность профильтрованной воды, °ПКШ**

№ опыта	Доза коагулянта, мг/л	Название коагулянта					
		ПОХА	Ultra PAC 30V1	Ultra PAC 30V2	PAX XL100	Ferix	СА
1	10	140,18	131,00	117,27	51,64	-	18,36
2	20	31,82	22,00	31,27	18,18	311,8	3,27
3	30	14,36	12,00	18,55	0,91	-	1,64
4	40	16,36	8,91	12,91	4,55	103,6	1,09
5	50	6,36	20,00	8,91	4,73	16,91	1,27
6	60	7,27	12,73	8,91	4,18	15,82	0,91
7	70	4,91	5,00	8,18	50,73	16,36	1,27
8	80	-	3,64	11,82	113,27	9,64	0,91
9	90	83,82	-	9,45	81,09	-	14,55
10	100	-	77,00	34,73	101,45	7,64	2,91



**Рис. 1.** Влияние дозы коагулянта на осветление

Максимальной эффективности по формированию крупных хлопьев достигли коагулянт ПОХА в дозировке 40 мг/л, содержание взвешенных веществ достигает 79,2 мг/л на начало осветления и через полчаса снижается до 12 мг/л. Формировались крупные, хорошо осаждаемые хлопья. СА также эффективен при данной дозировке, но содержание взвешенных веществ на начало осветления 36,9 мг/л, при этом хлопья осаждались удовлетворительно. UltraPAC V-2 показывает максимум в дозировке в 1,5-2 раза

большой, 60-80 мг/л, не требуя подщелачивания. А Ferix при дозе 70 мг/л, и при этом рН снижается до значения 3,36, требуя значительного подщелачивания.

Таким образом, самым эффективным коагулянтом для понижения цветности до нормируемого значения 20 °ПКШ является ПОХА.

Неплохие результаты получены при применении UltraPAC V-2, который также относится к группе полиоксихлоридов с высокой молекулярной массой. В работе доказано, что применение коагулянта ПОХА позволит сократить дозы вводимого реагента, повысить эффективность осветления воды, при значительно меньшем снижении исходной рН среды, что также снизит расход щелочного реагента.

Процесс коагулирования значительно ускорится, если в воду добавить флокулянты – вещества образующие с водой коллоидные дисперсные системы. Частицы флокулянта вместе с отрицательно заряженными частицами взвеси адсорбируются на хлопьях коагулянтов, что ведет к быстрейшему укрупнению хлопьев и ускоряет их осаждение. Это дало дальнейшее направление работы – подобрать современный эффективный флокулянт для повышения эффективности коагулянта ПОХА.

#### Библиографический список

1. Апельцина Е.И., Беляева С.Д., Короткова Е.В. Исследование влияния свойств анионных флокулянтов на эффективность коагуляционной очистки природных цветных вод. Изв. Жил.-ком. акад. Гор. хозяйство и экол. № 3, 1999, с. 64.
2. Бабенков Е. Д. Очистка воды коагулянтами.– М.: Наука, 1977, 356 с.
3. Васина Л. Г., Богловский А. В., Меньшиков В. Л., Гусев О. В., Шипилова О. В., Коробкова С. Л. Коагуляционные свойства оксихлорида алюминия различных модификаций // Теплоэнергетика. 1997. №6. С. 12-16.
4. Гандурина Л.В. Органические флокулянты в технологии очистки природных и промышленных сточных вод и обработки осадка. –М.: 2002. 41 с.
5. Гетманцев С.В., Нечаев И.А., Гандурина Л.П. Очистка производственных сточных вод коагулянтами и флокулянтами.– М.: Изд-во АСВ, 2008. 272 с.
6. Гетманцев С.В. Основные тенденции применения коагулянтов в России и за рубежом // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 8. с. 2 – 7.
7. Гончарук В.В., Герасименко Н.Г. Электрокинетические свойства продуктов гидролиза основных сульфатов железа в процессах водоподготовки. Химия и технология воды. // 18 - № 3 - 1996, с. 227.
8. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Гетманцев С. В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. – М., 2005. 576 с.
9. Евсютин А.В., Богловский А.В. Применение оксихлоридов алюминия для коагуляции воды с высоким содержанием органических примесей и низкой щелочностью // Теплоэнергетика. 2007. №7. С. 67 – 70.

10. Коряйкина А.В., Аюкаев Р.И. Применение биотехнологий для очистки высокоцветных природных вод из поверхностных источников в условиях Севера. /Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов, 2009. с. 245-251.

11. Линевич С.Н., Гетманцев С.В. Коагуляционный метод водообработки. Теоретические основы и практическое использование. – М.: Наука, 2007. 167 с.

12. Лукашевич О.Д. Экологические и технологические аспекты оценки качества природных вод для производственного и хозяйственно-бытового использования // Вода и экология, 2007. Т. 1, вып. 1. С. 3-16.

13. Рузинов Л.П. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / Рузинов Л.П., Слободчикова Р.И. М.: Химия, 1980. 280 с.

14. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

15. Сычев А.В., Хасанов Ш. А., Канивец Л.П., Солтан Н.М., Батуев Л.Д. Использование полиоксихлорида алюминия при подготовке питьевой воды на Крайнем Севере // Водоснабжение и санитарная техника. 2003. № 2. с. 30-31.

16. Феофанов Ю.А., Хиршиева И.В. Повышение эффективности процесса коагуляции маломутных цветных вод путем введения добавок-утяжелителей // Вода и экология: проблемы и решения. 2015. № 2, с. 24-30.

## О ПОКАЗАТЕЛЯХ КАЧЕСТВА ВОДЫ

**Л.Г. Дерюшев**, к.т.н., доц. каф. строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения, МГРИ-РГГРУ; **Н.Л. Дерюшева**, к.т.н., Департамент Природопользования и охраны окружающей среды города Москвы; **А.А. Ерхов**, к.т.н., доц. каф. строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения, МГРИ-РГГРУ; **Б.Н. Фрог**, д.х.н., проф., зав. каф. строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения, МГРИ-РГГРУ, г. Москва

Природная вода - химическое соединение водорода (11,1%) и кислорода (88,9%), как одна из важнейших сред, которая содержит необходимые ингредиенты, вещества обеспечивающие существование человека на Земле. Для ее сохранения требуются не только защита от загрязнений жизнедеятельности человека и животных, систематизация научных знаний, необходимых для охраны запасов воды, но и правильная оценка ее потребительских свойств.

Вода не только эликсир жизни человека, но и носитель вредных веществ, бактерий, распространяющих смерть и болезни. По условиям обеспечения гигиены человека вода не должна содержать патогенные микроорганизмы, иметь цветность, запах, избыточную мутность, химические соединения частиц высокого класса опасности [1]. Взаимосвязь составляющих питьевой воды и заболеваемости населения установлена и не отрицается ни в одной стране мира [2]. Только физиологически полноценная питьевая вода позволяет гарантировать здоровье человека. Снижение потребительских свойств воды обуславливает причины врожденных аномалий, повышение перинатальной смертности, ухудшение работоспособности людей, увеличение расходов на устранение заболеваний. Практически повсеместно население в РФ ощущает недостаток или избыток фтор-ионов в воде, что приводит к кариесу зубов или способствует развитию флюороза, полиневритов, остеосклеротического изменения костей. Очень часто подается вода, которая не сбалансирована по содержанию солей кальция, магния. Их недостаток приводит к сердечно-сосудистым, а избыток – к мочекаменным заболеваниям. Потребление воды с повышенным содержанием железа способствует развитию аллергических реакций, ухудшению показателей крови.

Централизованные системы водоснабжения проектируются и строятся с учетом обеспечения требований потребителей по подаче воды с заданными параметрами, но без гарантий уровня их сохранения. Сформулировать подобные гарантийные обязательства препятствуют не только ограничения затрат на строительство водопроводных объектов, но и отсутствие завершенных представлений о нормировании качества воды.

Показатели, характеризующие особенности химического состава питьевой воды, устанавливаются индивидуально для каждой системы водоснабжения в соответствии с правилами СанПиН [3]. При этом критерии качества воды приводятся как сочетание слов «хорошо» и «плохо» (см. табл. 1), а не в виде количественных оценок. Примером таких показателей может служить перечень, приведенный в табл. 1.

## Основные химические показатели воды водоема

Степень загрязнения	Растворенный кислород		БПК <sub>5</sub>	Окис- ляе- мость	Взвешен- ные ве- щества
	летом	зимой			
	мг/л				
Очень чистая	9	13-14	0,5-1	1	1-3
Чистая	8	11-12	1,1-1,9	2	4-10
Умеренно загрязненная	6-7	9-10	2-2,9	3	11-19
Загрязненная	4-5	4-5	3-3,9	4	20-50
Грязная	2-3	0,5	4-10	5-15	51-100
Очень грязная	0	0	>10	>15	>100

Термин «качество» в нормативных документах, научной и справочной литературе до последнего времени использовалось как понятие, которое не требует пояснения и количественной оценки. Подобное толкование свойств объекта можно отнести к категории таких абстрактных понятий как красота, добро, зло. Абстрактные понятия не поддаются определению. То, что кажется прекрасным одному человеку, другому может показаться уродливым. Понятия, которые трудно определить, еще труднее измерить.

В ФЗ «О водоснабжении и водоотведении» в статьях 23 и 24 [1] указывается, что необходимо контролировать качество питьевой и горячей воды, а для сточных вод - контролировать их состав и свойства. Подобный разницей в терминологии при изложении требований по обеспечению безопасности воды для питьевых, экологических целей и условий использования можно избежать, если потребительские свойства воды оценивать количественными методами, применяемыми при нормировании надежности продукции в технике [4, 5, 6, 7, 8].

Вода, которая подается потребителю из системы водоснабжения или собирается и отводится системой водоотведения, может рассматриваться как вид продукции. В 70 годы в нашей стране, в период «пятилетки качества», повсеместно использовались методы объективной оценки потребительских свойств выпускаемой продукции во всех отраслях народного хозяйства. Эти усилия были направлены не только на повышение качества выпускаемых изделий и продуктов питания, но и на гармонизацию общественных отношений. Результаты труда оценивались не по условиям конъюнктурных взаимоотношений между людьми, а их значимости для существования человека. Полученные в этом направлении успехи одобрены прогрессивными жителями нашего государства и зарубежных стран. Прошло достаточно много времени, многое изменилось в производственных отношениях между людьми, но понятие качества продукции осталось неизменным.

Качество продукции – это совокупность свойств, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с установленным назначением [8].

Например, вода для питьевых целей, как указывается в СанПиН [3], не должна содержать или превышать заданных пределов по весу или объему веществ, вредных для здоровья человека. Ключевая вода, по своему составу и потребительским свойствам, идеальна для питьевых целей и хозяйственно-бытовых нужд, а вода из поверхностного источника может быть пригодна для питья, но по составу контролируемых параметров не обладать оптимальными свойствами для потребления. В зависимости от времени года, региональных особенностей, совокупности событий и условий поступления в водоток или водоем поверхностных или промышленно-бытовых стоков, возможности подготовки воды на очистных сооружениях, состав воды, подаваемый потребителю, может изменяться и отклоняться от идеальных величин в неограниченных пределах. Потребительские свойства воды определяются как органолептическими, так и физико-химическими методами. В технике, например, качество продукции оценивается показателями надежности, которые включают: безотказность, долговечность, сохраняемость, ремонтпригодность. Отмечается, что показатель качества – количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, рассматриваемых применительно к определенным условиям создания и эксплуатации или потребления [8].

В настоящее время состав воды для питьевых, технических целей, или при условии сброса в водоем нормируется в установленных пределах. Поскольку состав воды случаен, то и пределы отклонений не постоянны. Потребитель заинтересован получать воду с параметрами близкими к номинальным. Если установленные параметры воды сохраняются в пределах времени  $t \leq \Delta t$ , то можно судить о ее качестве. В технике устойчивость параметров продукции за время  $t \leq \Delta t$  оценивается вероятностью  $P(t)$ . В области водоснабжения, например, обеспеченность расчетных уровней воды в поверхностных источниках водоснабжения оценивается в %: 97, 95, 90 [8], которые не сложно интерпретировать как вероятности сохранения уровней воды за период  $t$  функционирования системы:  $P(t) = 0,97$ ,  $P(t) = 0,95$ ,  $P(t) = 0,9$ . Очевидно, что и качество воды следует оценивать по вероятности сохранения оптимальности ее состава. Например, качество воды из источников водоснабжения можно оценить на уровне  $P(t) = 0,99$ , т.е. сохранение оптимальных параметров состава воды с вероятностью 0,99 за экстремальный период функционирования системы  $t \leq \Delta t$ .

Внедрение и применение количественных методов оценки качества воды требует коренных изменений в организации эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения [10], введения новой отчетной документации на станциях подготовки и очистки воды, а также в подразделениях государственного санитарного надзора. Систематизации данных анализа воды подаваемой потребителю, сбрасываемой в водоем, состава воды источника водоснабжения. Полученные данные необходимо обрабатывать не по усмотрению главного инженера водоканала или инспектора санэпидстанции, а строго соблюдая методики, применяемые при оценке генеральной совокупности статистической информации [11]. Эти правила нормируются требованиями статьи 7 [12], статьи 29 [14], раздела II [13].



Для накопления требуемых статистических сведений о составе воды необходимо, чтобы формы отчетных данных были по возможности простыми и предельно унифицированными для всех организаций эксплуатирующих объекты систем водоснабжения и водоотведения. Представительность данных определяется ее достоверностью, полнотой, непрерывностью и оперативностью [11]. Достоверность достигается точным учетом всех результатов анализа воды, повышением квалификации персонала, ведущего записи в журналах по эксплуатации оборудования и сооружений систем водоснабжения и водоотведения, а также лиц, выполняющих обработку данных по составу воды.

## Выводы

1. Под термином качество воды необходимо подразумевать не совокупность ингредиентов и веществ, входящих в состав воды, а  $P(t)$  – вероятностью сохранения оптимальных потребительских свойств за время  $t \leq \Delta t$ .
2. Свойства воды определяются ее составом. Показатели, характеризующие особенности химического состава питьевой воды, устанавливаются индивидуально для каждой системы водоснабжения в соответствии с правилами СанПиН
3. Внедрение и применение количественных методов оценки качества воды требует коренных изменений в организации эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения, ведения отчетной документации на станциях подготовки и очистки воды, а также в подразделениях государственного санитарного надзора.

## Библиографический список

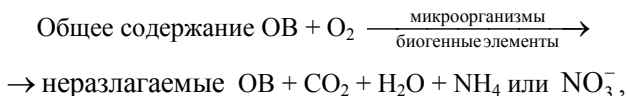
1. Федеральный закон «О водоснабжении и водоотведении» №416-ФЗ от 7 декабря 2011 г.
2. Водоснабжение. Пособие по модернизации. Фрог Н.П., Шиндоровский С.А., Шиндоровский М.А., Белокопытов Д.Р., Скорик С.А., Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И. М.: Обнинск. Фабрика офсетной печати. 2010. - 192 с.
3. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.06.2010 N 74.
4. Постановлений Правительства РФ «О составе разделов проектной документации и требований к их содержанию» №87 от 16 февраля 2008г.
5. Постановлений Правительства РФ «О схемах водоснабжения и водоотведения» №782 от 5 сентября 2013 г.

6. ГОСТ 27751-2014. Межгосударственный стандарт. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. 2015 г.
7. ГОСТ Р 54257-2010. Надежность в технике. Термины и определения. 2014.
8. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. Стандартиформ, 2009.
9. СП 31.13330-2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
10. МДК 3-02.2001. Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации.
11. Дунин-Барковский И. В., Смирнов Н. В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике (общая часть) – М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1955.
12. Закон РФ № 174-ФЗ от 23.11.95 г. «Об экологической экспертизе».
13. Приказ ГКЭ от 16.05.2000 г. № 372 «Об утверждении Положения об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в РФ».
14. Инструкции по экологическому обоснованию хозяйственной и иной деятельности», утвержденной Приказом Госкомэкологии РФ № 539 от 29.12.95 г.

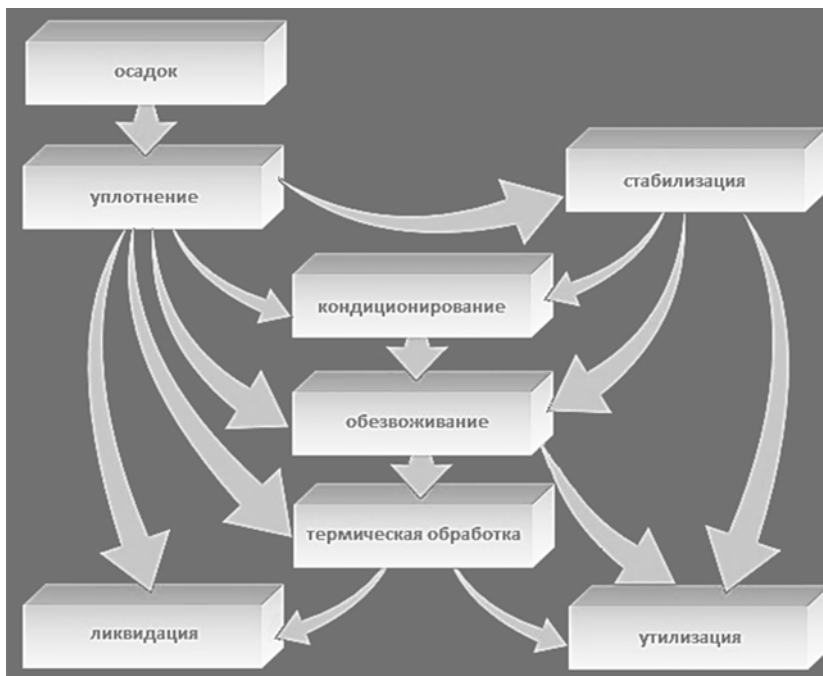
## ВИДОИЗМЕНЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА АКТИВНОГО ИЛА В ПРОЦЕССЕ СТАБИЛИЗАЦИИ

**А.А. Ерхов**, к.т.н., доц. каф. строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения, МГРИ-РГГРУ; **Е.А. Королёва**, к.т.н., ст. препод., каф. водоснабжение и водоотведение, НИУ МГСУ; **Б.Н. Фрог**, д.х.н., проф., зав. каф. строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения, МГРИ-РГГРУ, г. Москва

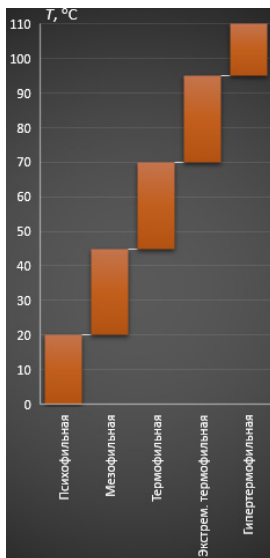
В процессе обработки воды на очистных канализационных сооружениях в виде отхода получают осадки, содержащие в том числе органические вещества (ОВ), свойства которых зависят, естественно, от исходного состава воды, а количество составляет  $\approx 0,1$  % её объёма, – и такое разнообразие по объёму, составу и свойствам осложняет их обработку с целью утилизации; опыт показывает, что на станциях малой производительности экономически целесообразна аэробная стабилизация, на крупных станциях – осадок из первичных отстойников лучше направлять в метантенки на анаэробное сбраживание, а активный ил (АИ) – в стабилизатор на стабилизацию (рис. 1), то есть в отношении АИ аэробная обработка является экономически эффективней и предпочтительней, при этом *термофильные* условия (рис. 2) в сравнении с *мезофильными* имеют преимущества: устойчивость процесса в отношении залповых нагрузок и состава исходной среды, стабильный надёжно обезвреженный концентрат с хорошими седиментационными свойствами, скорость снижения концентрации ОВ в 2-3 раза выше, процесс идёт с высокой интенсивностью, позволяющей уменьшить размер сооружений, и аэробно стабилизированный АИ, идущий на удобрение, улучшает агрохимические показатели почвы. Особенность технологического расчёта – непостоянство в процессе очистки химического состава АИ при неизменной в инженерных расчётах формуле  $C_xH_yO_zN$  (АИ – амфотерная коллоидная система с элементарным химическим составом близким  $C_{54}H_{212}O_{82}N_8S_7$ , состоящая на 70-90 % из органических и на 10-30 % из неорганических веществ по сухому веществу, то есть кроме живых организмов содержащая твёрдые включения, к которым они крепятся), – схема биохимического окисления представлена на рис. 3; процесс окисления ОВ, катализируемый ферментами, в аэробных условиях представляют в виде системы последовательных реакций, где  $C_xH_yO_zN$  – ОВ сточной воды;  $C_5H_7NO_2$  – условная формула клеточного вещества бактерий;  $\Delta H$  – энергия. Аэробная стабилизация – процесс, состоящий из множества реакций, и в непосредственном виде дающий информативную, но крайне сложную модель, поэтому её упрощают (см. рис. 3) для представления в виде, описываемом уравнением



и поскольку в расчётах биохимического разложения исходят из того, что для превращения 1 г  $\text{NH}_3$  в  $\text{RNO}_3$  необходимо количество  $\text{O}_2 \approx 4,5$  г, оно, согласно представленной формуле, в случае полной стабилизации увеличивается в 1,4 раза, – отношение  $\text{O}_2$  к  $\text{OB}$ , характеризуемое стехиометрическим коэффициентом, является ключевым в расчётах окисленных реакций; менее сложной методикой определения данного соотношения является допущение равенства ХПК осадка и количества  $\text{O}_2$ , потребляемого при аэробном разложении – при стабилизации  $\text{OB}$  распадаются, и возрастает ХПК фильтрата АИ при одновременном повышении его зольности, концентрации нитритов и нитратов и уменьшении сухого вещества и количественного состава микрофлоры. Связь ХПК с температурой линейна –  $\text{ХПК}_{\text{max}} = 19 \cdot T - 15$  мг/л, – безотносительно температуре диапазона эта величина нарастает в течение трёх суток, затем снижается, что соотносится с ростом концентрации АИ во вторичном процессе при развитии адаптированной микрофлоры в жёстких условиях существования. Процесс аэробной стабилизации в термофильных условиях условно делят на два периода: период убыли и период наращивания АИ. В 1-м периоде невозможно считать убыль ила по ХПК фильтрата, а только по зольности и прямому счёту, во 2-м подсчёт ведётся как по ХПК, так и по прямому счёту.



**Рис. 1.** Технологическая схема обработки осадка



**Рис. 2.** Температурные зоны жизнедеятельности микроорганизмов

Скорость изменения концентрации разлагаемой биомассы в соответствии с кинетической теорией стабилизации АИ определяется как  $v = K_d - S$  где  $S$  – концентрация разлагаемых ОВ,  $K_d$  – коэффициент скорости реакции, называемый также коэффициентом разложения, является функцией температуры, и выражается упрощенным уравнением Аррениуса:  $K_d = K_{d0} \cdot \Theta^{(T-20)}$ , где  $\Theta$  – коэффициент температуры. И балансовое

уравнение массы и теплоты –  $V \frac{dS}{dt} = Q_{и} S_0 - Q_{и} S_1 - K_d S_1 V$  где  $V$  – объём

реактора,  $Q_{и}$  – расход ила поступающего в реактор,  $S_{01}$  – биохимически разлагаемые ОВ соответственно в начале и конце процесса – связывает массу с количеством теплоты, образующейся при биохимическом разложении ОВ, и вычислить её можно на основе применения принципов термохимии к стехиометрическим уравнениям, а именно: теплоту горения рассматривать как теплоту реакции, – при окислении  $\text{NH}_3$  образуется количество теплоты 13,5 кВт/г вещества в кислородных эквивалентах, при разложении  $\text{NO}_3$  – 19,8. Оптимальная температура повышения скорости разложения ОВ при одновременном подавлении процесса нитрификации – теоретически значимая и практически непросто решаемая задача, – баланс тепловых потерь и расхода тепла  $H_B + H_M = H_{л} + H_V + H_S$  где  $H_B$  биологическая генерация тепла;  $H_M$  – расход энергии на перемешивание;  $H_{л}$  – потери тепла с жидкостью после очистки;  $H_V$  – потери тепла в отходящем газе;  $H_S$  – потери тепла в окружающую среду.

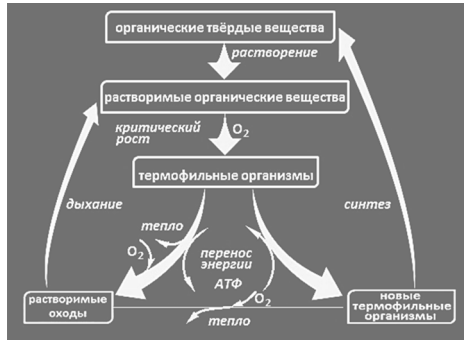


Рис. 3. Схема окисления ОВ

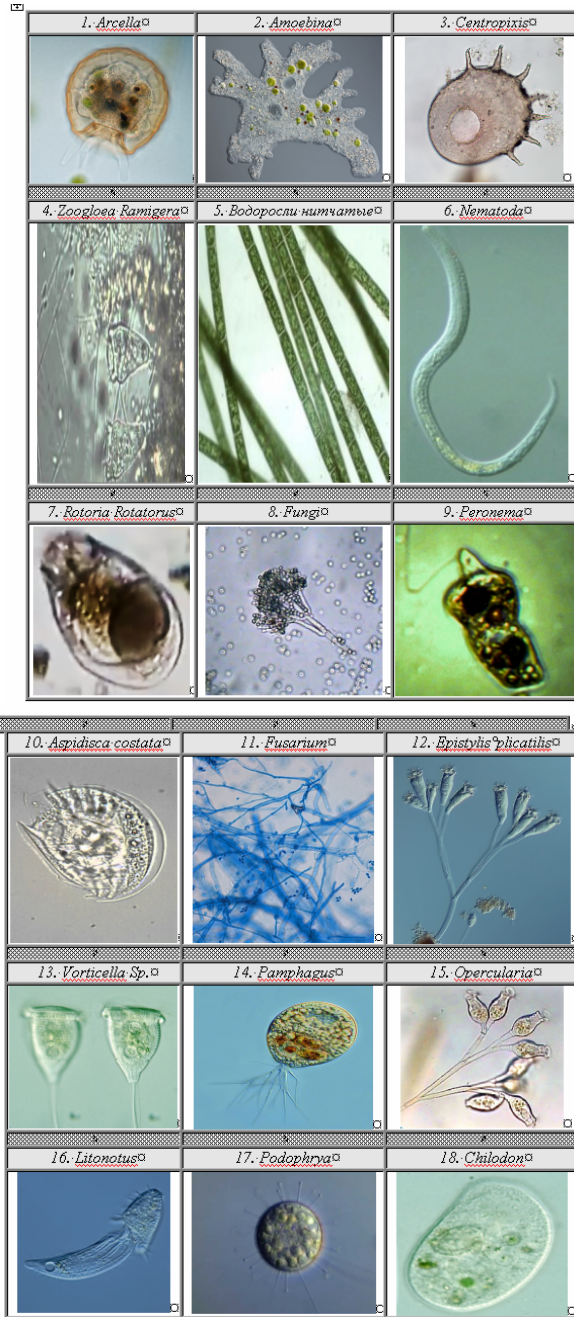
Изменение концентрации твёрдых частиц АИ при аэробной стабилизации в термофильных условиях отличается от мезофильных: процесс представляется двумя необратимыми последовательными реакциями – распад биомассы мезофильных и на веществе распада синтез термофильных микроорганизмов по схеме  $A \xrightarrow{K_1} R \xrightarrow{K_2} S$ , где  $A$  – разлагаемая биомасса мезофильных микроорганизмов,  $R$  – продукт распада,  $S$  – синтезируемая биомасса термофильных микроорганизмов, – распад описывается реакцией первого порядка, то есть  $C_t = C_0 e^{-K_1 t}$ , реакция синтеза описывается тем же модифицированным уравнением –  $C_t' = C_{\max(1 - e^{-K_2 t})}$ , изменение суммарной концентрации АИ определяется по уравнению  $C_t' = 0$ ,

$$\frac{T}{9_2} \cdot 1200 t^{\left(\frac{T}{9_2} - 1\right)} - 3,5 t^{2,5} - 0,4 C_0 e^{-0,4 t} = 0, \text{ где } t \text{ – продолжительность ста-}$$

билизации, сут.,  $T$  – температура в стабилизаторе, °С,  $C_0$  – исходная концентрация активного ила, мг/л; удельный расход кислорода – по формуле, где 1,4 – удельная химическая потребность в кислороде; изменение ХПК фильтрата АИ:  $XPK_t = 16 T t^{1,2 S} e^{-0,4 z t} + t^{2,7} + XPK_0$ , где  $XPK_0$  – исходная химическая потребность в кислороде, мг/л. Нитрификация в первые двое суток стабилизации идёт интенсивно за счёт жизнедеятельности биоценоза недоразложенного АИ, концентрация нитритов и нитратов составляет половину от максимальной, затем она подавляется, – при этом количество кислорода –  $2NH_4^+ + 3O_2 = 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+$ ,  $2NO_2^- + O_2 = 2NO_3^-$  – составляет 2-3% от ХПК фильтрата АИ. Окисление АИ – процесс уморения биоценоза при сокращении жизни гетеротрофной микрофлоры и постепенной смены форм на более жизнестойкие, и до практически полной потери жизнеспособных простейших и превращении АИ в микробный ил. Здоровый АИ разнообразен по микробиологическому составу (рис. 4), – различные гидробиологические исследования исходного состояния свидетельствуют о наличии и синергии разнообразной микрофлоры, например, чаще:



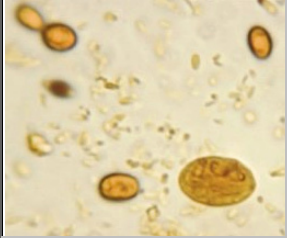
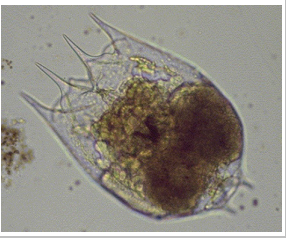
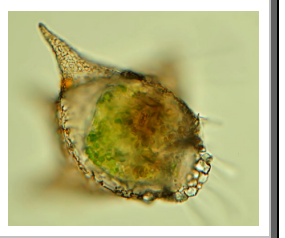
а) абсолютные значения; б) % от общего числа родов  
**Рис. 4.** Количественный усредненный состав биоценоза АИ



Примечание: Фотографии с разных Интернет-ресурсов.



Таким образом, биоценоз всегда представлен бактериями, водорослями и грибами, и шестью классами беспозвоночных: ресничными, прикрепленными и свободноплавающими сосущими инфузориями, саркодовыми жгутиконосцами, коловратками и червями, – такой биоценоз типичен для очистных сооружений, работающих по технологии полного окисления и нитрификации, которая и подтверждается присутствием организмов 3-го трофического уровня; перед стабилизацией физиологическое состояние организмов должно быть хорошим, то есть без признаков угнетения: ресничные диски инфузорий открыты, коловращательные аппараты коловраток работают, – хлопок компактный. Однако, уже спустя сутки стабилизации биоценоз должен начать меняться:

1. Цисты простейших	2. Цисты коловраток	3. <i>Diffflugia</i>
		
4. <i>Arcella</i>	5. Цисты мелк. <i>Hagellas</i>	5. <i>Amoebina</i>
7. <i>Fungi</i>	8. <i>Zoogloea Ramigera</i>	9. <i>Centropixis</i>

Остаются лишь устойчивые формы, а уязвимые в отношении неблагоприятных условий организмы исчезают, отдельные представители инцистируются, – хлопок разбитый. На пятые сутки в АИ остаются:

1. Цисты простейших	2. <i>Arcella</i>	3. <i>Diffflugia</i>
---------------------	-------------------	----------------------

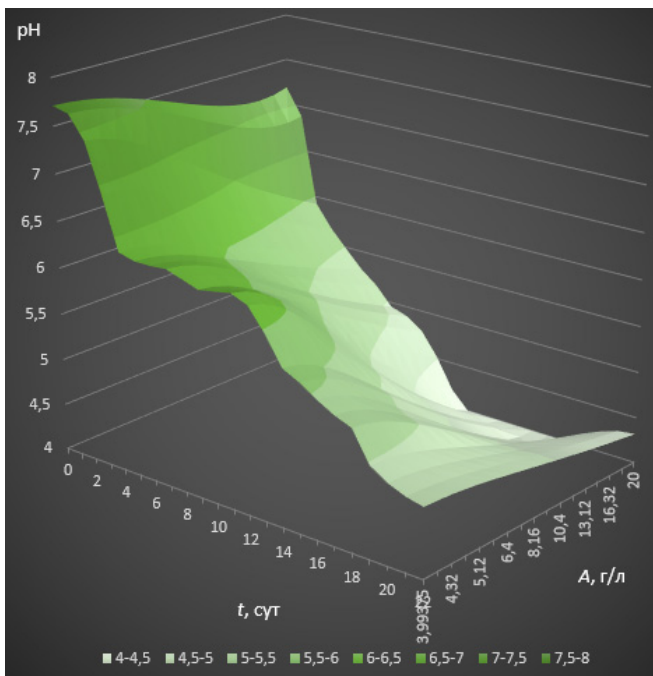
У оставшихся раковинных амёб часто оказываются пустыми раковины, исчезают нитчатые формы. Восьмые сутки характеризуются двумя представителями:

1. Цисты простейших	2. <i>Arcella</i>
---------------------	-------------------

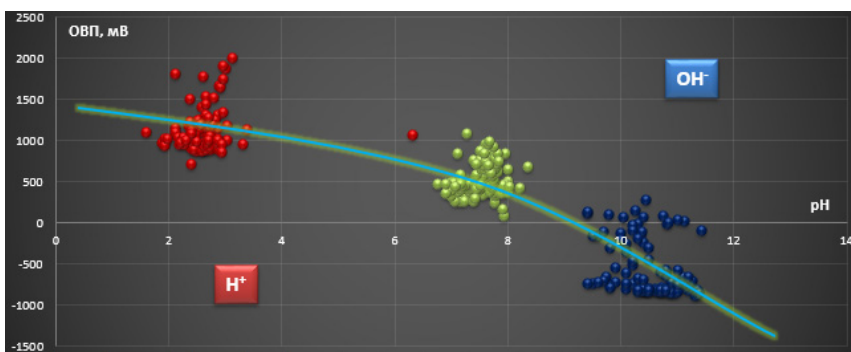
Раковинные амёбы при симметричности формы (что свидетельствует о сохранении жизненных функций) остаются в единичных экземплярах, раковинки *Arcella* присутствуют в значительном количестве, но разрушенные, – хлопок отсутствует. Таким образом, минерализация идёт за счёт об-

разования микробных метаболитов и распада ОВ, а основу биологических процессов минерализации составляет аммонификация с биологическим окислением ОВ: сначала микроорганизмы АИ перерабатывают ОВ осадка и путём анаболизма синтезируют новые клетки, затем, в процессе подкисления осадка и снижения активной реакции среды идёт минерализация с образованием  $\text{HNO}_3$ , то есть нитрификация, которой способствует наличие в среде  $\text{NH}_4$  в присутствии  $\text{O}_2$  и которую необходимо подавить, возможна при температуре до  $T = 65^\circ\text{C}$ , но помимо температуры физиологическое состояние клеток и эффективность процесса определяют другие факторы: прежде всего, концентрация субстрата, рН, редокс-потенциал и солёность. При стабилизации АИ происходит снижение рН до 4,5 независимо от концентрации сухого вещества со скоростью пропорциональной ей; – на плоскости кинетики рН (рис. 5) отмечаются четыре участка: 1-й продолжительностью 4 сут. характеризуется наибольшим снижением рН, накоплением нитратов и  $\text{NH}_4$ , 2-й (5-7 сут.) – замедлением снижения, менее интенсивным накоплением нитратов, 3-й (3-4 сут.) – увеличением скорости снижения рН, накоплением нитратов и 4-й – стабилизацией содержания нитратов и величины рН и увеличением содержания  $\text{NH}_4$ . Снижение рН, увеличение содержания нитратов и замедление распада ОВ обусловлены истощением экзогенного субстрата и эндогенного получаемого в симбиозе продукт-субстрата, и кроме того, концентрация сухого вещества АИ в ходе стабилизации падает с увеличением зольности. При близконеutralной рН внутриклеточной среды – 6-8 и невозможности мембран держать барьер проницаемости апоптоз нейтрофилов и алкалофилов – фактор времени, – многочисленный отряд ацидофилов, включающий, в том числе, многие грибы и некоторые водоросли, и зачастую не входящий в группу термофилов, погибает также в продолжении времени, определяемого температурой, – что косвенно и подтверждают предложенные выше уравнения  $C_i = f(T, t)$ .

Другим гидрохимическим показателем, характеризующим состояние микроорганизмов наряду с рН, является окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) или редокс-потенциал среды (рис. 6), поскольку характеризует устойчивость воды в отношении образования  $\text{H}$  (выделяемого, кроме всего, в процессе жизнедеятельности бактериями) или  $\text{O}_2$ , то есть границу – окислительная/восстановительная среда, – хотя ОВП используют для определения является вещество среды окислителем или восстановителем [больше перенос электронов (выше отрицательный заряд) – сильнее восстановление], без него не обходятся измерения и электрической энергии в биологических системах; действительно, поскольку концентрацию электронов при химической реакции непосредственно измерить нельзя, используют электрический **reduction-oxidation** потенциал, а активность (перенос) электронов (как рН характеризует перенос протонов  $\text{H}^+$ ) характеризует уровень биохимической реакции, поскольку потенциал микроорганизма, клетки, органелл возникает вследствие возбуждения биохимических превращений: при биоэлектрическом потенциале от  $-20$  до  $-200$  мВ ОВП воды колеблется от  $-400$  до  $+700$ .



**Рис. 5.** Кинетика снижения величины pH АИ в ходе аэробной стабилизации



**Рис. 6.** Зависимость Eh–pH воды – количественное выражение способности отдавать (OH<sup>-</sup>) и принимать электроны в процессе дыхания клеток

Таковыми несомненными факторами микробиологического состояния, как токсиканты, возраст АИ, количество живых и мёртвых клеток, а также инженерные решения системной среды: тип и конструкция сооружений и перемешивание, выражаемыми в явном виде, в данной работе вынуждены пренебречь.

## Выводы

При аэробной стабилизации протекает множество реакций, обусловленных множеством факторов, учесть которые в инженерных расчётах сложно, однако основные характеристики стабилизации – удельное количество кислорода, температура, концентрации должны в явном виде отражать условия процесса и показывать его скорость, – важнейшей характеристикой аэробной стабилизации АИ является рабочая температура, – чем она больше, тем интенсивнее процесс: при росте от 50 до 65 °С скорость возрастает на 25 %. При аэробной термофильной стабилизации также идёт процесс нитрификации, быстро развивающийся в начале и затухающий в конце, – при непрерывной подаче новых порций АИ нитрификация идёт с незначительными изменениями нитритов и нитратов; количество кислорода для нитрификации незначительно, и в расчётах можно не учитывать.

### Библиографический список

1. Захватаева Н. В. Активный ил как управляемая экологическая система / Захватаева Н.В., Шеломков А.С. – М.: Экспо-Медиа-Пресс, 2013. – 285 с.
2. Фауна аэротенков (Атлас). – Л.: Наука, 1984. – 264 с.

## ПАМЯТИ НИНЫ АЛЕКСЕЕВНЫ ЛУКИНЫХ (В ГОД 100-ЛЕТИЯ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

**Н.А. Залётова**, д.т.н., проф., каф. водоснабжение и водоотведение, НИУ МГСУ;  
**Р.Ш. Непаридзе**, к.т.н., ген. директор института «Гипрокоммуводоканал»;  
**С.В. Залётов**, к.т.н., технический директор «Евролос»; **В.Г. Пономарёв**, д.т.н.,  
проф., ОАО «НИИ ВОДГЕО», г. Москва

Всем специалистам в области очистки природных и сточных вод, а также студентам факультета ВиВ (Водоснабжения и водоотведения) строительных университетов и институтов известно имя Лукиных Н.А. по таблицам расчета канализационных сетей. Но не все знают, что не она была главным исполнителем, а помогала выполнять расчеты своему отцу – крупному инженеру, Лукиных Алексею Алексеевичу. Таблицами пользуются до настоящего времени. На рис. 1 представлены оригинальные рукописи таблиц и использованная при расчетах техника. Сама же деятельность Нины Алексеевны со временем стала намного шире, глубже, объемней и содержательней.



**Рис. 1.** Таблицы расчета канализационных сетей

Нина Алексеевна Лукиных родилась 17 октября 1918 года в Петрограде (Ленинграде), с 1923 года ее семья жила в Москве. Окончила Московский инженерно-строительный институт (МИСИ), получила квалификацию инженера – строителя по специальности водоснабжение и канализация. Защищала дипломный проект 25 июня 1941 г. В связи с объявлением войны 22 июня 1941 года здание МИСИ в Большом Козицком переулке было передано военному ведомству, а студенты «путешествовали» по разным

помещениям, наиболее крупным из которых было здание бывшей гимназии, расположенное на Спартаковской улице.

Сразу после завершения учёбы Нина Алексеевна начала работать в проектных организациях – в институте Водоканалпроект, затем – в институте Центроспецстройпроект.

Недалеко от Центроспецстройпроекта на Кузнецком мосту, в небольшом 2-х этажном здании находилась Академия коммунального хозяйства, в которой перед самой войной была образована аспирантура. Весной 1943 года прием в аспирантуру был возобновлен и Нина Алексеевна становится аспирантом Академии. Темой ее диссертации была очистка сточных вод бумажной промышленности. Новой задачей диссертации была разработка технологии выделения из сточных вод волокна методом флотации. Исследования были проведены на сточной воде бумагоделательной фабрике. Фабрика находилась за территорией Ботанического сада в Ростокино. «Бесценную», как она называла, воду для экспериментов Нина Алексеевна возила на трамвае через всю Москву в лабораторию профессора Калабиной М.М., где проводила исследования. Диссертацию защитила в институте ВОДГЕО в 1947.

Первой после защиты диссертации научно-исследовательской работой был поиск возможного использования избыточного активного ила. Ее учителем и консультантом был Сергей Николаевич Строганов, который с самого начала исследования методов очистки сточных вод был убежден в необходимости использовать из сточных вод все, что может быть полезно в народном хозяйстве.

В начале 50-х годов. Н.А. организовала лабораторию промышленных сточных вод в недрах сектора сантехники Академии. Сотрудников было мало и пришлось пойти по пути приёма очных аспирантов. Первыми аспирантами Алексеевны стали известные в будущем учёные – Туровский И.С. и Разумовский Э.С. Первый стал заниматься обработкой осадка, главным образом, механическим обезвоживанием, второй – очисткой жидкой фазы, условиями приёма производственных вод в городские канализации и совместной их очисткой.

Большие работы под руководством Нины Алексеевны были проведены в двух городах: сначала в Иваново, а затем в Калинин (Тверь). В обоих городах преобладала текстильная промышленность. По результатам исследований разработаны и построены за два года объединённые сооружения биохимической очистки сточных вод города Калинина. Это была первая очистная станция на Волге. Работа получила высокую оценку, и коллектив разработчиков и исследователей, проектировщиков, строителей в 1973 году был награжден премией Совета Министров СССР.

В период 1963-1968 г.г. возникла проблема, связанная с разработкой последствий использования поверхностно активных веществ (ПАВ) в быту и промышленности. Применение ПАВ приводило к тому, что в некоторых районах водная поверхность рек покрывалась пеной. В результате сброса сточных вод в отдельные периоды поверхность рек покрывалась пеной, что

вызывало затруднения при работе гидротехнических сооружений, и даже препятствовало движению пароходов. Пена, выносящаяся на близлежащие дороги, препятствовала движению транспорта.

Функции головной организации по решению возникшей проблемы были возложены на Академию коммунального хозяйства им К.Д. Памфилова на лабораторию, руководимую Ниной Алексеевной. В исследованиях принимал участие целый ряд ведущих научно-исследовательских организаций: ВНИИ ВОДГЕО, Институт общей и коммунальной гигиены им. Сысина, Гидрохимический институт, МИСИ им. Куйбышева, НИО треста Мосочиствод, ГОСНИОРХ. В рамках решения вопросов была разработана Методика определения биохимического окисления ПАВ, установлена связь структуры поверхностно-активных веществ с возможностью их биологического окисления. Выделенная группа соединений, которые биологически окислялись, была названа биологически «мягкими» веществами и допущена к использованию в СМС. Биологически «жесткая» группа соединений ПАВ была запрещена к использованию в СМС. Разработаны методы очистки сточных вод, содержащих допущенные к использованию ПАВ. В результате, экономические преимущества технологий удаления ПАВ были увязаны с охраной водной среды. В этот период, а точнее в 1968 г., Нина Алексеевна защитила докторскую диссертацию

С переездом Академии в новое здание на Волоколамском шоссе, значительно расширился круг изучаемых проблем и расширился обмен опытом с зарубежными странами, в частности, с Финляндией, Польшей, ГДР. Нина Алексеевна участвовала в Международных симпозиумах, конференциях. Участвовала в I Международном конгрессе по проблеме охраны водоемов от загрязнения сточными водами, в работе Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в Неаполе, ездила на ЭКСПО-70 (Япония), принимала участие по обмену опытом со специалистами США (1974-1975 гг.) (рис. 2).



**Рис. 2.** Н.А. Лукиных со специалистами США

После решения вопросов, связанных с ПАВ, возникла новая проблема – эвтрофирование водоемов, одной из основных причин которой стал повышенный сброс в водные объекты биогенных веществ (соединений азота и фосфора), а последствием – зарастание водоемов. Нина Алексеевна в качестве консультанта занималась этими вопросами практически до последних дней жизни.

Нина Алексеевна была активным членом Ученых Советов Академии коммунального хозяйства, МИСИ ВНИИ ВОДГЕО. Работала в экспертном совете ВАК (рабочая группа), в двух советах ГКНТ (Государственного комитета по науке и технике). Всегда и всех поражала эрудированность, доброжелательность и особое чувство времени и появляющихся задач.

К Нине Алексеевне часто обращались за помощью специалисты при решении сложных вопросов, аспиранты из разных организаций и городов за советом и помощью при написании и защите в разных диссертационных Советах.

Глубокое понимание поставленной задачи, требовательность и дисциплинированность, научный темперамент, благожелательность и заботливость к подчинённым и особенно аспирантам, сделали Нину Алексеевну необычайно популярной.

Её деловые качества, обширные интересы при решении государственных народно-хозяйственных проблем, определили близкие творческие отношения Н.А. Лукиных с её известными современниками в области коммунального водного хозяйства: Ф.А. Шевелёвым, Д.М. Минцем, С.В. Яковлевым, С.А. Шубертом, что благоприятно влияло на кипучую научно-производственную деятельность Н.А. Лукиных (рис. 3).



**Рис. 3.** С.В. Яковлев и Н.А. Лукиных



У Нины Алексеевны официально было 12 аспирантов, четверо из которых защитили докторские диссертации, а двое её учеников в дальнейшем становились директорами НИИ КВОВ.

За работу в НИИ КВОВ АКХ Нина Алексеевна Лукиных награждена медалями, ей присуждено почетное звание Заслуженного работника жилищно-коммунального хозяйства РСФСР.

Залетова Н.А. (д.т.н.), Непаридзе Р.Ш. (к.т.н.), Залетов С.В. (к.т.н.) – аспиранты Нины Алексеевны Лукиных, кому посчастливилось работать с Ниной Алексеевной долгие годы.

## ОСАДКИ СТОЧНЫХ ВОД КАК СЫРЬЁ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМЗИТА

**Е.А. Королёва**, к.т.н., ст. препод., каф. водоснабжение и водоотведение, НИУ МГСУ; **А.А. Ерхов**, к.т.н., доц. каф. строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения, МГРИ-РГГРУ, г. Москва

Утилизация осадков сточных вод (ОСВ) очистных сооружений (ОС) имеет не только природоохранное, но и экономическое значение, поскольку содействует восполнению сырьевых и опосредованно материальных ресурсов. ОСВ Москвы и Московской обл. составляют по данным ОАО Мособлжилкомхоз в среднем до 30-45 % от общего количества отходов производства и потребления, – то же отношение характерно для всех мегаполисов, – в агропромышленном комплексе ОСВ занимают 5 % [1]. Отсутствие внимания к вопросу утилизации зачастую создаёт ситуацию, когда ОСВ поступают в переполненные сооружения обработки и приводят к аварийным сбросам, – с другой стороны, традиционные технологии обработки – пиролиз, сжигание и др. высоко энергоёмки, то есть ведут к нерациональному расходованию органической составляющей и, кроме того, образованию не утилизируемых вторичных отходов [4].

Решением означенной проблемы признана переработка или использование аккумулированных техногенных отходов, в том числе поликомпонентных ОСВ в стройиндустрии, – это позволяет получить реальные экономические и социально-экологические выгоды при минимальных затратах. Если потребителем многотоннажных отходов является промышленность стройматериалов, то поставщиками – естественно, промышленные предприятия образующие не утилизируемые ОСВ. Широкий ассортимент (как вида продукции) промышленных отходов в качестве потенциального керамзитового сырья требует систематизации накопленных данных и теоретически обоснованного выбора, – при производстве керамзита возможна утилизация почти всех видов отходов с получением экономически выгодных продуктов при минимальных затратах природных ресурсов и теплоэнергоресурсов. Общим классификационным признаком является разделение отходов по химико-технологическим свойствам, – по классификации НИИКерамзита отходы следует делить на две группы: заменители природного сырья и добавки в сырьевую смесь. На основании данных, полученных из литературы, выделяются следующие систематизации по химическому составу и технологическим показателям:

- химическому составу: органические, органоминеральные, минеральные;
- агрегатному состоянию: твёрдые (кусковые, порошковые), жидкие (эмульсии, суспензии), пастообразные (шламподобные);
- применению: основной компонент сырьевой смеси, добавки в шихту, опудриватель сырцовых гранул;
- функциональному назначению для улучшения качества керамзита: снижения насыпной плотности, повышения прочности, интенсификации

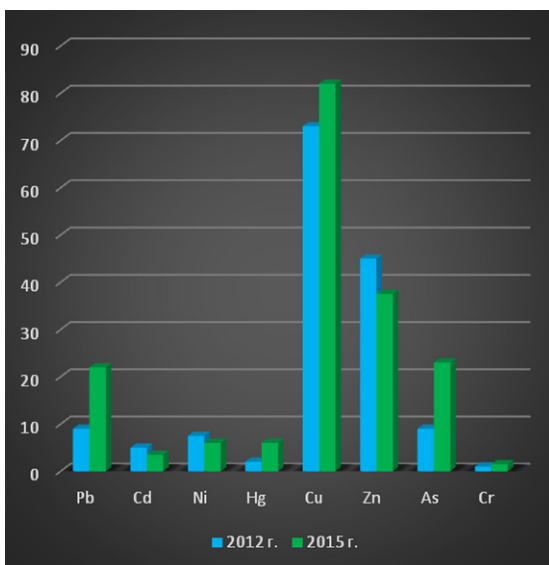
процессов керамзитобразования, расширения интервала вспучивания, снижения температуры вспучивания.

Универсальными по функциональному назначению являются отходы органоминерального состава (металломаслянная окалина, шламы и др.), – они способствуют повышению качества керамзита и улучшению технологических параметров. Утилизация ОСВ в качестве добавки в шихту при пластическом способе производства керамзита позволяет увеличить сырьевые ресурсы, предотвратить отчуждение больших земельных участков и даёт возможность разгрузить иловые площадки и полигоны станций аэрации. Другие направления утилизации, такие как сельское хозяйство, имеют ограничения из-за содержания в ОСВ солей «тяжёлых» металлов, яиц гельминтов и патогенной микрофлоры; поэтому, термическую переработку осадков следует считать технологическим этапом получения конечного продукта. Обработка ОСВ проводится с целью получения безопасного для окружающей среды продукта, возможно меньшего объема, но максимально пригодного для утилизации в промышленности (или, в другом случае, создания оптимальных условий для захоронения). Аэробное окисление обеспечивает гибель бактерий *E. Coli* более чем на 95%, однако яйца гельминтов при этом не погибают. Ещё одну опасность представляет содержание «тяжелых» металлов, но это более важный критерий экологической оценки осадков (рис. 1), – и здесь учитывают концентрацию в основном наиболее опасных по ПДК восьми элементов, содержание которых в ОСВ при утилизации в качестве удобрений по странам и континентам варьируется<sup>1</sup>; например, концентрация наиболее опасного Cd в Канаде составляет 5 мг/кг, а в США – 17 мг/кг сухого вещества, допустимое содержание Cr в ОСВ в Дании – 40 мг, а в США – 1200 мг, т.е. в 30 раз больше [1, 5]. В Японии и Франции перспективным считают отверждение отходов путём смешения с компонентами, содержащими нефтепродукты, масла, известь, цемент и др. с последующим использованием в качестве удобрения или топлива, – однако такая технология сложна, требует значительных энергетических и трудовых затрат. Новым наукоёмким процессом утилизации осадков является низкотемпературный (250–400 °С) пиролиз, получивший распространение также в Японии, Италии, Германии и в ряде других стран, – наибольшее число пиролизных установок построено на базе переработки твёрдых бытовых отходов, значительно меньше работает на смеси бытовых отходов со сточными водами. Основная цель – не только переработка отходов, но и утилизация органики с получением основного продукта – сырой нефти [1]; исследования Штутгартского университета показывают, что для переработки можно использовать любые органические отходы, но чем выше содержание органического вещества, тем выше КПД процесса, – очень высокую отдачу при переработке дают АИ и иловые отложения со дна город-

---

<sup>1</sup>Кроме строительной отрасли потребителем ОСВ является сельское хозяйство: осадки, имеющие в составе P, N, Ca и K, эффективно используются в качестве удобрений.

ских водоёмов. Однако такой способ переработки имеет ряд недостатков: расходуется значительное количество энергии, разрушается (в ряде случаев без утилизации тепла) органический компонент, ценный в технологии обжиговых строительных материалов и, кроме того, остаётся проблема утилизации минеральной части.



**Рис. 1.** Сравнительное содержание нормируемых «тяжёлых» металлов и мышьяка в осадках сточных вод на одном из объектов в 2012 и 2015 гг., % от требований ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 (1 группа)

Важным этапом в производстве стройматериалов перед обжигом является обезвоживание. На ОС внедрена технология, включающая сбраживание с последующей сушкой на иловых площадках, или с механическим обезвоживанием осадка [3]. Применяемый процесс аэробного окисления (минерализация) прост, и заключается в длительном аэрировании смеси осадков первичных отстойников и избыточного АИ. Основной стадией обработки ОСВ, обеспечивающей сокращение их объёма, является обезвоживание, – одним из первых нашёл применение метод механического обезвоживания на барабанных вакуум-фильтрах, но более широкое применение получили методы обезвоживания на осадительных шнековых центрифугах типа ОГШ и ленточных фильтр прессах типа ЛФП [3]. Для канализации мегаполисов обработка ОСВ имеет особое значение: например, в Москве только 1/3 подвергается механическому обезвоживанию на вакуум-фильтрах, остальные после термофильного сбраживания направляются на иловые площадки, занимающие территории более 800 га. Созданное положение обусловило необходимость перехода на промышленные методы с ориентацией на тепловую переработку.

Предлагаемая ниже обжиговая технология позволит решить проблему малоотходной утилизации техногенных отходов путём использования переработанного вторичного сырья ОС в строительстве, а именно внедрения новой технологии в производство керамзита из ОСВ на основе вскрышного глинистого сырья, – ОСВ в виде добавок обеспечивают улучшение качества минерального вяжущего за счёт изменения физико-химических свойств соединения. Термообработка позволит максимально утилизировать минеральную часть ОСВ и получить экологически чистые, продукты: керамзитовый гравий и песок. Таким образом, целью работы является разработка технологии утилизации ОСВ совместно с некондиционными вскрышными глинистыми породами с получением при этом экологически чистого керамзита марки М150-М800 [ГОСТ 32496-2013]. Помимо названных компонентов в состав керамзита включаются не утилизируемые осадки поверхностных стоков (ОПС), содержащие коагулянты/флокулянты и за счёт этого обладающие выраженным эффектом влагоотдачи на стадии механического обезвоживания, поскольку на порядок снижается их удельное сопротивление. Физико-химические свойства компонентов и готового сырья следующие:

- Глина – в естественном состоянии буро-красная, плотная, среднедисперсная и среднепластичная – относится к группе гидрослюдисто-монтмориллонитовых с примесью каолинита, кварца, полевых шпатов и гидрослюды типа иллита и др., – легкоплавкая ( $T_{\text{плав.}} < 1350^{\circ}\text{C}$ ), неспекающаяся характеризуется незначительным содержанием органики, после обжига соединения типа муллита, шпинели кристаллизуются; по содержанию  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – кислая, с низким содержанием красящих оксидов,  $\text{SiO}_2_{\text{своб.}}$  – 13,9 %.

- ОСВ состоит из органических веществ на 66,1 %, остальное – минеральный остаток, – по составу горючей массы (73,4 %), зависящей преимущественно от влажности, и зольности (33,9 %), близки к торфу с теплотой сгорания рабочей массы  $> 1,55$  мДж/кг; статистическая обработка данных по зольности, влажности до механического обезвоживания и влажности кека показали относительную стабильность показателей. Таким образом, ОСВ является техногенным отходом, стабильных технологических свойств и показаны как компонент шихты для производства керамзита.

- ОПС с содержанием коагулянтов/флокулянтов способствует снижению влажности при отжиге на 21-25%, осадок, образующийся при обработке ОПС, характеризуется высокой зольностью  $> 63$  % и разнородным многокомпонентным составом, имеет высокую удельную поверхность –  $800 \dots 1000$  м<sup>2</sup>/кг, влажность механически обезвоженного составляет 62,5 %, – низкая влажность кека объясняется синергизмом влияния на обезвоживание присутствующих в составе ОПС грубодисперсных примесей, эмульгированных ПАВ, органических полимолекулярных и минеральных веществ, также являющихся поверхностно активными, – многократно усиливая воздействие применяемых коагулянтов (флокулянтов), они обеспечивают дополнительное снижение влажности ОПС на 29 %; ОПС, получаемый с вакуум-фильтров тиксотропен, что усложняет его вывоз автотранспортом и утилизацию.

• Корректирующие добавки ОСВ и ОПС задают сырью пластифицирующий эффект, и в шихте повышают число пластичности более чем на 20 %, понижая коэффициент консистенции до  $-0,37$ , что уменьшает формирующее давление и технологическую энергоёмкость. Кроме пластифицирующего эффекта специфические добавки ОСВ и ОПС с коагулянтами/флокулянтами снижают температуру обжига до диапазона оптимальных значений  $1020...1080$  °С, т.е. совершенствуют обжиг, увеличивая коэффициент вспучивания до величин  $> 5,45...7,49$ .

Химический состав минеральной части ОСВ по литературным данным [2, 4] приведён в табл. 1.

Таблица 1

**Химический состав минеральной части осадков, %  
к абсолютно сухому веществу**

Наименование окислов	Содержание окислов, % по типам осадков		
	из первичных отстойников	активный ил	сброженная смесь осадка первичных отстойников и активного ила
SiO <sub>2</sub>	8,4-55,9	7,6-33,8	27,3-35,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,3-18,9	7,3-26,9	8,7-9,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,0-13,9	7,2-18,7	11,4-13,6
CaO	11,8-35,9	8,9-16,7	12,5-15,6
MgO	2,1-4,3	1,4-11,4	1,5-3,6
K <sub>2</sub> O	0,7-3,4	0,8-3,9	1,8-2,8
Na <sub>2</sub> O	0,8-4,2	1,9-8,3	2,6-4,7
SO <sub>3</sub>	1,8-7,5	1,5-6,8	3,0-7,2
ZnO	0,1-0,6	0,2-0,3	0,1-0,3
CuO	0,1-0,8	0,1-0,2	0,2-0,3
NiO	0,2-2,9	0,2-3,4	0,2-1,0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8-3,1	0,0-2,4	1,3-1,9

По результатам экспериментальных исследований установлен химический состав компонентов шихты (рис. 2).

Для оценки эффективности ОСВ в качестве добавок к некондиционному глинистому сырью для производства керамзита они добавлялись в пропорции 15,25, 35 %, и затем проводилось сравнение с контрольной пробой. Добавки ОСВ в шихте являются основными источниками газообразной фазы, при частичном пиролизе в интервале температур  $600-1050$  °С и при дефиците кислорода, – выделяются газы – CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O и др. Наибольшее значение в образовании газообразной фазы имеет взаимодействие оксидов железа с углеродом органических примесей продуктов неполного сгорания, кроме того, закись железа-плавень ускоряет переход массы в пиропластическое состояние и повышает эффект поризации гранул. Присутствие глинистых частиц соединений железа и органических примесей в составе шихты способствуют жидкостному спеканию и вспучи-

ванию при обжиге, – при увеличении их содержания процесс спекания перемещается в область более низких температур.

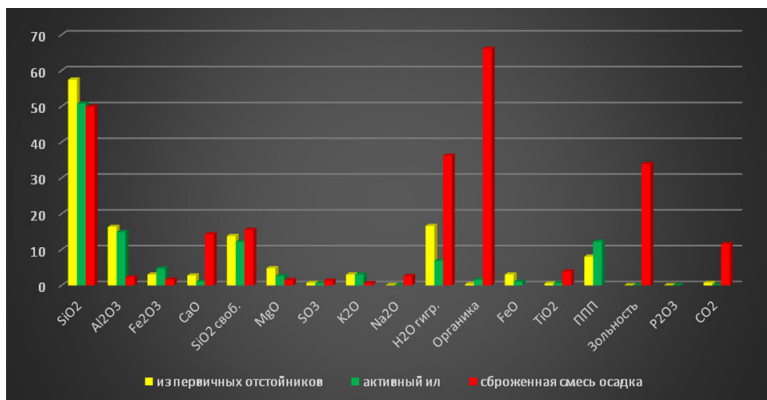


Рис. 2. Химический состав компонентов шихты

## Вывод

Разработанная обжиговая технология позволит использовать низкосортные некондиционные мало- и среднепластичные глины, а также техногенное сырье – запесоченную вскрышную глинистую породу совместно с многокомпонентными отходами ОС – ОСВ и ОПС. Усовершенствованная технологическая схема производственного процесса включает сооружения полной биологической очистки, обработки ОСВ и производства керамзитового гравия и песка. Полученные оптимальные технологические параметры:  $T_{обж} = 1200...1800$  °С и соотношение компонентов шихты – глины и ОСВ 3:1 позволяют получать керамзитовый гравий марок по насыпной плотности М150 и М200 и по прочности П50.

## Библиографический список

1. Пахненко, Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения / Е.П. Пахненко. – 3-е изд. – М.: Лаборатория знаний, 2015. – 314 с.
2. Хисамеева Л.Р. Обработка осадков городских сточных вод/Л.Р. Хисамеева, А.С. Селюгин, Р.Н. Абитов, А.В. Бусарев, Н.С. Урмитова. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2016. – 105 с.
3. Долина Л.Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов: Монография / Днепропетровск: Континент, 2011. – 198 с.
4. Водоснабжение водоотведение/Под общей ред. Ю.В. Воронова и А.Л. Ивчатова. – М: АСВ, – 488 с.
5. Беляева С.Д. Регулирование обращения с осадками сточных вод / С.Д. Беляева, Е.В. Короткова / Экология производства № 3, 2016. – С. 80-86.

## АНАЛИЗ МАЛЫХ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.А. Кулаков, к.т.н., ООО «Альта Групп», г. Москва

Малые канализационные очистные сооружения (КОС), согласно [1] их производительность до 1000 м<sup>3</sup>/сут, имеют ряд проблем, среди которых технические, организационные и экономические [2, 3]. Это зачастую приводит к их неэффективной работе, низкой надежности и увеличению негативного влияния на окружающую среду.

Достижение установленных природоохранных нормативов на малых КОС представляется проблематичным [4]. Это приводит к штрафным санкциям водопользователям.

Целью данной работы являлась оценка достижимости природоохранных нормативов на малых канализационных очистных сооружениях.

В работе рассмотрены 15 малых коммунальных КОС с биологической очисткой в Вологодской области и оценена вероятность достижения ПДК за пять лет по шести показателями, наиболее характерным для хозяйственно-бытовых сточных вод (табл. 1).

Таблица 1

### Природоохранные нормативы для малых КОС

ВВ	БПК <sub>полн</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
10	3	0,5	0,08	40	0,6

Проектная производительность исследованных сооружений варьировалась от 100 до 3770 м<sup>3</sup>/сут, фактическая – от 14 до 1770 м<sup>3</sup>/сут.

Собранные статистические данные были проанализированы и определены максимальные, минимальные и средние значения концентраций по годам, а также кратность превышения ПДК, равная отношению концентрации по i-му параметру к ПДК. Полученные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

### Средняя кратность превышения ПДК на малых КОС

год	Средняя кратность превышения ПДК по:					
	ВВ	БПК <sub>полн</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
<b>ПДК</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,08</b>	<b>40</b>	<b>0,6</b>
2015	0,30	3,20	8,28	6,01	0,19	5,88
2014	0,49	4,20	8,80	7,32	0,14	3,25
2013	0,14	1,64	10,77	5,56	0,07	1,99
2012	1,57	7,92	11,65	8,89	0,22	4,96
2011	0,90	9,45	22,70	9,80	0,59	6,65



Для численной оценки достижимости ПДК рассчитана частота обеспечения заданного значения концентрации *i*-го показателя в отводимых в водный объект сточных водах по формуле:

$$W_i = \frac{N_i}{N_{\text{общ}}} \cdot 100, \%$$

где  $N_{\text{общ}}$  – общее количество КОС;  $N_i$  – количество КОС, на которых обеспечивается заданная концентрация *i*-го показателя, т.е. значение концентрации *i*-го показателя меньше или равно заданному значению.

Данные по расчету частоты обеспечения приведены в табл.3.

Таблица 3

### Частота обеспечения концентраций

БПК <sub>полн</sub>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	
C, мг/л	W <sub>i</sub> , %	C, мг/л	W <sub>i</sub> , %	C, мг/л	W <sub>i</sub> , %	C, мг/л	W <sub>i</sub> , %
<b>3</b>	<b>18</b>	<b>0,5</b>	<b>15</b>	<b>0,08</b>	<b>33</b>	<b>0,6</b>	<b>19</b>
5	35	1	28	0,15	46	1	32
10	57	2	42	0,2	51	2	52
15	75	4	61	0,4	65	3	65
20	78	6	67	0,6	70	4	72
25	82	10	76	0,8	76	5	81
30	86	15	88	1	83	6	86

Полученные данные свидетельствуют, что лишь 15 % станций обеспечивают ПДК по четырем показателям (по ВВ и нитратам высокая степень достижения ПДК за все проанализированные года).

При проектировании, монтаже и эксплуатации малых КОС необходимо учитывать их особенности, наиболее характерными из которых являются:

- частые пиковые нагрузки на сооружения по объему и составу сточных вод, высокая неравномерность нагрузок.
- удаленность объектов, что затрудняет их быструю эксплуатацию и удорожает строительство, вводит ограничения на размеры конструкций с учетом транспортных габаритов.
- высокая себестоимость капитальных и эксплуатационных затрат ввиду удорожания очищаемого 1 м<sup>3</sup>.
- низкая эффективность обслуживания ввиду отсутствия или неподготовленности обслуживающего персонала.

Данные особенности накладывают ограничения на применяемые технологические решения, определяющим при этом становятся габаритные размеры транспортировки. В противном случае потребуются возведение объекта на месте, что резко увеличивает его себестоимость.

Транспортное ограничение сооружений по высоте (рабочая глубина сооружений биологической очистки и отделения биомасс не превышает 2,1 м) делает практически недоступным применение технологий с активным илом, особенно при дозе выше 3 г/л.

Так обследование мобильных сооружений производительностью 30 м<sup>3</sup>/сут показало, что при пиковых поступлениях, которые отмечались регулярно, происходит практически полное вымывание активного ила из реактора, что обнуляет работоспособность сооружений. В рабочем режиме сооружений наблюдался периодический вынос активного ила.

В этом отношении применение реакторов с прикрепленным биоценозом выглядит перспективнее для малых КОС.

Сравнение биореакторов с активным илом и биопленкой приведено в табл. 4.

Таблица 4

#### Особенности биореакторов с различным биоценозом

Параметр	Активный ил	Биопленка
Пиковый приток	Возможен вынос	Устойчив
Технология	Требуется четкое разделение кислородных зон	Возможно сокращение числа кислородных зон
Обслуживание	Требуется контроль дозы ила, возможно вспухание и вынос ила	Не требуется контроль дозы, периодическое открепление, сложно оценить дозу
Экономика	Не требует дополнительных накопителей биомассы	Позволяет увеличить рабочую дозу, требует дополнительных затрат на накопители биомассы
Параметры сооружений	Требуется большей глубины для предотвращения выноса или большей площади при малых «рабочих» дозах	Возможно снижение глубины при незначительном уменьшении площади за счет повышения «рабочей» дозы

Возможно и комбинирование биомасс, в одном реакторе могут находиться активный ил и биопленка, при условии удержания ила от выноса с очищенной водой.

В свою очередь накопители биомассы могут быть плавающими и жестко закрепленными. Преимуществом последних является простота их извлечения при проведении плановых работ, нахождение в четко отведенной под них технологической зоне, возможность применения на станциях с

большей производительностью. Плавающая загрузка требует специальных удерживающих устройств для требуемого технологического нахождения в реакторе, но при этом обладает лучшей самоочищающейся способностью за счет трения в процессе перемешивания.

В целом преимуществом систем с прикрепленной биомассой является надежность технологии и устойчивость к пиковым притокам, простота эксплуатации, компактность решений и возможность быстро переоборудовать существующие сооружения за счет монтажа биозагрузки.

### Выводы

Лишь 15 % малых биологических канализационных очистных сооружений обеспечивают достижение природоохранных нормативов.

Подход к проектированию, монтажу и эксплуатации малых КОС должен учитывать частые пиковые нагрузки, удаленность объектов, высокие капитальные и эксплуатационные затраты, низкую эффективность обслуживания.

Технологические решения, основанные на прикрепленном биоценозе, являются предпочтительными для малых КОС, обеспечивая простоту монтажа, надежность работы и минимизируя потребность в эксплуатации.

### Библиографический список

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 10-2015 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов».

2. Кулаков А.А. Совершенствование малых канализационных очистных сооружений / «Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения». 2017. - № 5. – С. 27-36.

3. Кулаков А.А. Оценка современного состояния малых коммунальных очистных сооружений канализации / А.А. Кулаков // «Вода и Экология. Проблемы и решения». Санкт-Петербург: ЗАО «Водопроект» - Гипрокоммунводоканал, 2015. - № 1. – С. 26-39.

4. Экологическая оценка комплекса «водный объект – выпуск очищенных сточных вод/ Кулаков А.А.// Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 5. С. 25-30.

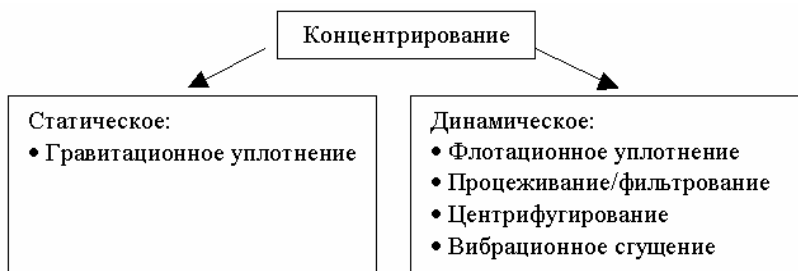
## МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ ИЗБЫТОЧНОГО АКТИВНОГО ИЛА ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАНАЛИЗАЦИИ

М.А. Куцевол, студент, ВоГУ; А.А. Кулаков, к.т.н., каф. водоснабжения и водоотведения, ВоГУ, г. Вологда

В процессе очистки сточных вод образуется большое количество отходов и осадков. Осадки сточных вод состоят из твердых частиц органического и минерального происхождения и воды с растворенными в ней веществами.

При биологической очистке образуется избыточный активный ил, влажность которого 99-99,7%, он нуждается в концентрировании - процессе увеличения доли сухого вещества и уменьшении влажности осадка.

Для концентрирования осадков возможно применение двух методов (динамическое и статическое):



Динамическое концентрирование, представляет собой уплотнение с помощью компактных установок (сгустителей, фильтров, центрифуг, флотаторов, вибрационных установок). Данный метод целесообразно использовать в технологических схемах очистки сточных вод с метантанками, так как эффективность работы таких установок зависит от количества сухого вещества.

Наиболее простым и экономически целесообразным методом является статическое, или гравитационное уплотнение, которое протекает за счет гравитационных сил, когда твердые частицы под силой собственного веса уплотняются на донную часть сооружений.

Существующие методы имеют свои преимущества и недостатки (табл. 1), подбор метода уплотнения индивидуален и зависит от качества и количества обрабатываемого осадка [1].

Широкое применение нашёл метод гравитационного уплотнения, при котором однако осадки имеют склонность к загниванию при длительном нахождении в бескислородных условиях.

Согласно [2] осадки, получаемые после обработки биологической очистки с глубоким удалением азота и фосфора, не рекомендуется уплотнять более 3 часов.

## Сравнительная характеристика методов уплотнения осадков

Метод	Преимущества	Недостатки
Гравитационное уплотнение	Простота эксплуатации, низкие затраты, возможно использовать сооружения, как буферные емкости.	Низкая эффективность, ухудшение влагоотдающих свойств осадков, образование неприятных запахов.
Флотационное уплотнение	Предотвращение загнивания ила, быстрое уплотнение, малые объемы сооружений	Требует больших эксплуатационных затрат, по сравнению с гравитационным методом
Фильтрация	Отсутствие запахов, высокие скорости уплотнения, низкая влажность получаемого осадка, компактность	Высокое энергопотребление и стоимость установок, риск поломки оборудования
Центрифугирование		
Вибрационное сгущение		

Для снижения порога загнивания осадка возможно использование метода аэрирования осадка – процесса подавления жизнедеятельности гнилостных бактерий, путем их частичной минерализации. Аэробная стабилизация обеспечивает высокую степень распада органических веществ, частичное обеззараживание и относительно не высокие эксплуатационные затраты.

Среди другим методов интенсификации гравитационного илоуплотнения можно выделить уплотнение с применением тонкослойных модулей, мешалок, подогрева, добавлением присадок и реагентов [3-8].

Таблица 2

## Сравнение методом интенсификации гравитационного метода

Метод	Описание результата	Требуемые работы*
1	2	3
Добавление присадок (зола ТЭЦ/ опилки)	Ускорение процесса седиментации	Оборудование блока реагентного хозяйства и смесителей
Добавление реагентов (коагулянты, известь)	Снижение дозы флокулянта на станции обезвоживания	Оборудование блока реагентного хозяйства и смесителей
Перемешивание осадка	Снижение риска загнивания осадка, увеличение эффективности уплотнения	Оборудование илоуплотнителя рамными перемешивающими устройствами периодического или постоянного перемешивания.
Низкотемпературный нагрев	Снижает дозы вводимых реагентов	Установка термических модулей в илоуплотнителе

1	2	3
Промывка фильтратом /водой	Сокращение дозы флокулянта, продолжительности уплотнения	Установка резервуаров для накопления фильтрата и смесителей фильтрата/воды и осадка перед илоуплотнителем
Обработка иловой смеси песком	Сокращение продолжительности уплотнения	Установка устройства по обработке иловой смеси песком перед илоуплотнителем
Преаэрация	Улучшение седиментационных свойств	Оборудование контактного резервуара и системы подачи воздуха в нем
Применение тонкослойных модулей	Сокращение продолжительности уплотнения осадка	Установка тонкослойных модулей в илоуплотнителе

\* - работы по переоборудованию стандартного гравитационного илоуплотнителя.

Авторами было выдвинута гипотеза о положительном влиянии непродолжительной аэрации на влагоотдающие характеристики избыточного активного ила.

Изучено влияние преаэрации избыточного активного ила (ИАИ) городских сточных вод на его седиментационные и влагоотдающие характеристики.

Эксперимент проводился в следующей последовательности. Отобранный на очистных сооружениях канализации г. Вологды избыточный ил с влажностью 98,9% и дозой по сухому веществу 9,4 г/л аэрировался в емкости объем 97 л. Каждый час в течение 5 часов отбиралась проба ила и исследовалась на уплотнение в цилиндрах объемом 1 л. Определялся объем уплотненного ила за промежуток времени, удельное сопротивление фильтрации (УСФ) и скорость уплотнения  $v_y$ , определяемая по формуле:

$$v_y = (H_1 - H_2)/t, \text{ мм/мин}, \quad (1)$$

где  $(H_1 - H_2)$  – разница между высотами границы раздела фаз «ил-вода» за рассматриваемый временной промежуток, мм;  $t$  – продолжительность рассматриваемого временного промежутка, мин.

Результаты исследования показали, что аэрация ила в течение 3 часов дает наибольший эффект по ускорению уплотнения (табл. 3).

Скорость уплотнения изменяется в течение процесса, для большинства образцов она имеет максимальное значение в первые 15 минут отстаивания, затем начинает снижаться. В табл. 4 приведена скорость осаждения ила в 15-минутные интервалы при различной продолжительности преаэрации.

## Эффективность уплотнения избыточного ила после предаэрации

Продолжительность уплотнения, мин	Доля осевшего ила при продолжительности аэрирования, час					
	0	1	2	3	4	5
0	1	1	1	1	1	1
1	0,99	1	0,99	1	0,99	0,99
3	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
6	0,98	0,99	0,98	0,98	0,99	0,98
9	0,97	0,98	0,97	0,97	0,98	0,96
12	0,96	0,97	0,96	0,94	0,97	0,94
15	0,96	0,95	0,95	0,90	0,96	0,92
30	0,92	0,92	0,90	0,83	0,92	0,89
45	0,87	0,87	0,86	0,80	0,87	0,83
60	0,84	0,85	0,83	0,76	0,82	0,79

Таблица 4

## Изменение скоростей уплотнения ила

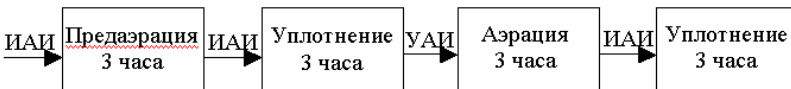
ΔТ, мин.	Скорость осаждения, мм/мин, при продолжительности аэрирования, час:					
	0	1	2	3	4	5
0-15	0,83	0,93	0,93	2,07	0,83	1,55
0-30	0,83	0,78	1,03	1,76	0,83	1,14
0-45	0,86	0,90	0,96	1,38	0,90	1,17
0-60	0,83	0,75	0,88	1,24	0,93	1,09

На втором этапе была исследована ступенчатость процесса. После 3 часовой аэрации ил уплотнялся в течение 3 часов в емкости объемом 97 л, надильная вода сливалась, затем ил снова аэрировался в течение 3 часов и затем подвергался окончательному уплотнению.

Изучение изменения влагоотдающей характеристики осадка (удельного сопротивления фильтрации) показало, что на первом этапе эксперимента снижается после 2 часов аэрации (с 139,3 до  $66,5 \cdot 10^{10}$  см/г), но возрастает после 3-х часов.

На втором этапе исследования удалось уменьшить влажность осадка с 98,9 до 98%, полученный осадок, обладал низким удельным сопротивлением (около  $60 \cdot 10^{10}$  см/г).

В результате была получена схема двухступенчатого аэрирования-уплотнения:



Данное решение интенсифицирует работу действующих гравитационных илоуплотнителей, что позволяет вписывать его в схемы модернизации сооружений с переходом на технологии глубокой биологической очистки от азота и фосфора.

#### Библиографический список

1. Кулаков А.А. Обработка осадков городских сточных вод : учебное пособие /Е.А. Латышева, О.А. Глебова, Е.М. Терехова. – Вологда: ВоГУ, 2017. – 74 с.
2. СП 14.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\* Строительство в сейсмических районах. М.: ОАО «ЦПП», 2011.
3. Луков С.А. Совершенствование технологии обработки осадков сточных вод крупных городов (на примере г. Нижнего Новгорода): дис. в виде науч. докл. канд. техн. наук / Луков С.А., Нижегородский гос. архитектурно-строительный университет – Нижний Новгород, 2007, – 204 с.
4. Туровский, И.С. Обработка осадков сточных вод. -2-е изд., перераб. И доп.-М.: Стройиздат, 1982.-223 с., ил.-( Охрана окружающей среды).
5. Пугачев Е.А. Процессы и аппараты обработки осадков сточных вод / Монография.- М.: Издательство АСВ, 2012. – 208 с.
6. Пат. 2 252 922(13) С2 Российская Федерация, МПК С02F11/02. Способ обработки активного ила и осадков сточных вод/ Ахмадуллина Ф.Ю., Асадуллин А.З.; заявитель и патентообладатель Казанское ОАО "Органический синтез"- №2002129121/15; опубл. 27.05.2005.- Б.и. -2005.-№15.
7. Жвакина, О.А. Совместная переработка осадков сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий с золой ТЭЦ: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. к.т.н.: спец. 05.21.03 / Жвакина О.А., [Архангел. гос. тех. ун-т]. - Архангельск: 2002. - 19 с.
8. Пат. 2 293 710 С2 Российская Федерация, МПК С02F 11/14. Устройство для обработки иловой смеси перед разделением/ Гельфанд Е.Д.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Архангельский государственный технический университет Федерального агентства по образованию- №2005100116/15; опубл. 20.02.2007.- Б.и. -2007.- №5.



## ОЧИСТКА МАЛЫХ ГОРОДСКИХ ВОДОЕМОВ ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

**Э.С. Насырова**, к.т.н., инженер 1 категории филиала «ЦЛАТИ по РБ» ФГБУ ЦЛАТИ по ПФО; **А.Н. Насыров**, нач. технического отдела филиала «ЦЛАТИ по РБ» ФГБУ ЦЛАТИ по ПФО; **А.Н. Елизарьев**, к.г.н., декан факультета ЗЧС ФГБОУ ВО УГАТУ, г. Уфа

В пределах крупных городов антропогенному воздействию подвержены как сточные, так и бессточные водоемы. Однако вследствие особенностей водного баланса, бессточные водоемы накапливают органические и взвешенные вещества, поступающие с поверхностным стоком и далее годами аккумулирующиеся в профундальной зоне. Впоследствии возникает необходимость очистки бессточного водоема для предотвращения снижения качества вод, обмеления, истощения биологической продуктивности и вторичного загрязнения донными отложениями [1-7].

Реабилитация малых городских водоемов включает мероприятия, направленные на:

- устранение источников антропогенного воздействия, например, минимизация сброса неочищенных промышленных или хозяйственно – бытовых сточных вод; устранение несанкционированных свалок отходов; отвод неорганизованного поверхностного стока на очистку;

- ликвидацию последствий антропогенного воздействия, например, изоляция донных отложений, изъятие вод из гипolimниона, очистка от загрязняющих и взвешенных веществ, сбор биомассы макрофитов и др. [8]. Выбор мероприятий по восстановлению водоемов зависит от их особенностей и вида антропогенного воздействия.

Автохтонное органическое вещество в водоемах, в соответствии с литературными данными [9-11], представлено биохимически легкоокисляемыми продуктами (свободные углеводы, липиды, белки, летучие органические кислоты и др.), а аллохтонное - гуминовыми и фульвокислотами. Элементный состав гуминовых кислот включает: С 52-62 %, О 31-39%, N 1,7-5,0% и H 2,8-5,8%. Содержание органических веществ в воде, как правило, оценивается определением окисляемости воды.

Для очистки воды от органического вещества применяют аниониты, представляющие собой высокомолекулярные соединения трехмерной гелевой или макропористой структуры, содержащие функциональные группы основного характера. Поглощение органических веществ анионитами обусловлено:

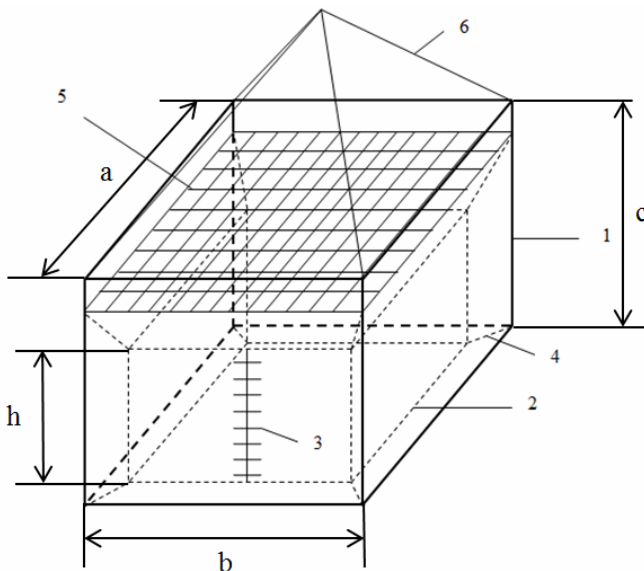
- силой Кулона между положительно заряженной матрицей анионита и отрицательно заряженным анионом органической кислоты;

- Ван-дер-Ваальсовыми силами между ароматическими циклами анионитов и молекулой органического вещества [12].

Функциональными группами анионитов являются различные амины, определяющие их тип:

- слабоосновные содержат  $-\text{NH}_2$ ,  $=\text{NH}$ ,  $\equiv\text{N}^+$ ;  
 - сильноосновные  $-\text{NR}_3\text{OH}$ : I типа  $-\text{N}(\text{CH}_3)_3\text{OH}$ ; II типа  $-\text{N}(\text{CH}_3)_2\cdot(\text{CH}_2\cdot\text{CH}_2\text{OH})\text{OH}$ . Каждый тип анионита обладает предельной органопоглощающей способностью, определяющей его эффективность.

В данной работе для очистки водоемов от органических веществ предлагается техническое решение (рис. 1) [8].



**Рис. 1.** Устройство очистки водоемов

1 – металлический каркас; 2 – емкость с анионитом; 3 – застежка – молния; 4 – стяжки; 5 – фильтрующая сетка; 6 – подъемные стропы;  $a, b, c, h$  – геометрические размеры

Устройство очистки водоемов (рис. 1) содержит металлический каркас 1, внутри которого расположена емкость с анионитом 2, имеющая застежку - молнию 3 и прикрепленная к металлическому каркасу 1 стяжками 4. В верхней части металлического каркаса 1 расположена фильтрующая сетка 5, также устройство оборудовано подъемными стропами 6.

Разработанное устройство работает следующим образом: в период открытой воды оно прикрепляется к маломерному судну с помощью строп. В работе предлагается устройство опускать на глубину 1,5-2,0 м. При движении маломерного судна вдоль срединной линии водоема, вода проходит сквозь емкость с ионитом, обеспечивая поглощение органических веществ. При подъеме устройства взвешенные вещества из толщи водоема оседают на поверхности фильтрующей сетки. После завершения одного рабочего цикла аниониты регенерируют и используют повторно.

Поскольку устройство очистки водоемов работает по принципу ионитового фильтра, продолжительность работы ( $\tau$ , ч) [13]:

$$\tau = \frac{l \cdot \text{ПОС}}{\text{ПО} \cdot w}, \quad (1)$$

где  $l$  – высота слоя анионита в устройстве, м, принимаемая равной высоте емкости с анионитом  $h$ ;

ПОС – предельная органопоглощающая способность анионита, восстанавливаемая при регенерации,  $\text{г} \cdot \text{O}_2 / \text{дм}^3$  (таблица 1 [14]).

Таблица 1

### Предельная органопоглощающая способность анионита

Тип анионита			
Сильноосновные		Слабоосновные	
Полистирольные	I типа	II типа	Полистирольные пористые
Гелевые	0,75	0,25	Полидисперсные
Макропористые	1,25	1,75	Монодисперсные
Полиакриловые гелевые и пористые	2,0		Полиакриловые
			гелевые
			макропористые
			4,0
			4,25
			6,0

$w$  – скорость фильтрования или скорость передвижения маломерного судна по водной поверхности, м/ч;

ПО – перманганатная окисляемость воды,  $\text{мг} / \text{дм}^3$ .

Рассмотрим эффективность работы устройства при следующих исходных условиях:

- в устройство загружен:

1) сильноосновной полистирольный гелевый анионит II типа (например, Dowex SAR, Purolite A 300, Амберлайт IRA 410 или Lewatit M 610), обладающей наименьшей органопоглощающей способностью равной  $0,25 \text{ г} \cdot \text{O}_2 / \text{дм}^3$  (таблица 1), условно обозначенный как ионит А;

2) слабоосновной полиакриловый макропористый ионит (например, Purolite A 835 или Lewatit AP 49), обладающей наибольшей органопоглощающей способностью равной  $6,0 \text{ г} \cdot \text{O}_2 / \text{дм}^3$  (таблица 1) - ионит В;

- геометрические размеры устройства:  $a = 0,8 \text{ м}$ ,  $b = c = 0,7 \text{ м}$ ,  $h = 0,5 \text{ м}$ ;

- перманганатная окисляемость воды изменяется от 8 до  $25 \text{ мг} / \text{дм}^3$ , что соответствует изменению качества вод от умеренно-загрязненного до грязного;

- скорость фильтрования для анионитов, в соответствии с литературными данными [13, 14], составляет 5-20 м/ч.

Полученные результаты расчетов показали, что как для ионита А, так и для ионита В наблюдается уменьшение длительности работы установки с увеличением скорости фильтрования. Однако, длительность работы устройства очистки с анионитом В в 20 раз больше, чем у устройства с анио-

нитом А. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности ионита А относительно ионита В.

Количество обработанной воды за фильтроцикл, освобожденной от органических веществ ( $Q, \text{м}^3$ ) [13]:

$$Q = \frac{ПОС \cdot V \cdot 10^3}{ПО}, \quad (2)$$

где  $V$  - объем анионита в устройстве,  $\text{м}^3$ ,  $V = a \cdot b \cdot h$ .

При заданных начальных условиях объем обработанной воды за один рабочий цикл для ионита А составит  $7-12 \text{ м}^3$ , а для ионита В  $168-280 \text{ м}^3$ .

Таким образом, для удаления органических веществ из малых бессточных водоемов в пределах городского ландшафта, имеющих класс качества по результатам комплексного анализа от умеренно-загрязненного до очень грязного разработано и запатентовано техническое решение. Принцип работы устройства основан на ионообменном процессе между анионитами и молекулами органических веществ, растворенных в воде. Разработанное устройство является малогабаритным и применимо в условиях плотной береговой застройки водоема для обеспечения необходимого уровня качества воды для хозяйственно-бытового водоснабжения населения и рекреационного водопользования.

#### Библиографический список

1. Бойкова И.Г., Волшаник В.В., Карпова Н.Б., Печников В.Г., Пупырев Е.И. Эксплуатация, реконструкция и охрана водных объектов в городах: учебное пособие. – М.: АСВ, 2008. 256 с.
2. Титова Т.С. Комплексная оценка влияния новых природозащитных технологий на геоэкологическую обстановку: дисс. ... д-ра техн. наук. Санкт-Петербург, 2005. 330 с
3. Reynolds C.S., Maberly S.C., Parker J.E., De Ville M.M. Forty years of monitoring water quality in Grasmere (English Lake District): separating the effects of enrichment by treated sewage and hydraulic flushing on phytoplankton ecology // *Freshwater Biology*. 2012. № 57. Pp. 384–399.
4. Ахтямов Р.Г. Оценка и пути уменьшения экологической опасности объектов автотранспортной инфраструктуры урбанизированной территории: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Казань, 2009. 19 с.
5. Nakashima S., Yamada Y., Tada K. Characterization of the water quality of dam lakes on Shikoku Island, Japan // *Limnology*. 2007. № 8. Pp. 1–22.
6. Минигазимов Н.С., Акбалина З.Ф., Минигазимов Р.Ш. Методология комплексной оценки экологического состояния территории при инвентаризации объектов накопленного экологического ущерба // *Уральский экологический вестник*. 2016. № 1. С. 24–30.

7. Araujo Cristiano V.M., Cohin-de-Pinho Salomao J., Chastinet Carla B.A., Machado Sandro L. da Silva, Eduardo M. The natural rehabilitation of an anthropogenically acidified tropical lake: two decades of monitoring // *Chemosphere*. 2012. № 9. Pp. 887–894.
8. Насырова Э.С. Геоэкологическая оценка водоемов городских ландшафтов (на примере г.Уфа): дисс. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2017. 247 с.
9. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1953. 295 с.
10. Перминова И.В. Анализ, классификация и прогноз свойств гуминовых кислот: дис. ... д-ра хим. наук. М., 2000. 359 с.
11. Славинская Г.В. Очистка природной и обессоленной воды от органических веществ // *Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура*. 2010. № 1 (17). С. 81–91.
12. Когановский А.М. Адсорбция органических веществ из воды. – Л.: Химия, 1990. 256 с.
13. Копылов А.С. Водоподготовка в энергетике. – М.: МЭИ, 2003. 309 с.
14. Водоподготовка: справочник / под ред. С.Е. Беликова. – М.: Акватерм, 2007. 240 с.

## **МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕМЕДИАЦИИ ОТКРЫТЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ С УЧЕТОМ ПРИЕМА ЛИВНЕВОГО СТОКА**

**И.И. Павлинова**, д.т.н., проф., руководитель технического отдела Ассоциации водоснабжения и водоотведения Московской области; **О.А. Платонова**, к.х.н., руководитель отдела АО «МосводоканалНИИпроект», г. Москва

На территории России в настоящее время насчитывается более 2,5 миллионов малых рек, ручьев и других малых водных объектов. Самыми крупными водотоками из малых на территории Московской области являются реки Пахра, Десна, Моча, Сетунь, которые в свою очередь имеют множество притоков, формирующих их сток. В настоящее время антропогенное воздействие привело к сокращению стока малых водотоков, загрязнению и нарушению их естественного гидрологического и гидрохимического режимов.

При сбросе сточных вод, в том числе и ливневого стока, в водотоки рек поступают патогенные микроорганизмы, органические и минеральные загрязняющие вещества, которые приводят к резкому снижению содержания растворенного кислорода в водной среде и, как следствие, к процессам эвтрофикации.

Системы мероприятий по охране водных бассейнов рек включают в себя современные экологически безопасные, энергосберегающие и безотходные физико-химические и биотехнологические решения по очистке, переработке и утилизации загрязняющих веществ в стоках, а именно:

- методы токсико-экологического мониторинга в зоне интенсивного техногенного загрязнения и экологического картографирования городских, промышленных и сельскохозяйственных зон;
- средства и способы реабилитации и санации территорий, загрязненных стоками, предотвращающие накопления токсичных веществ и биологических поллютантов в сточных, дождевых и грунтовых водах, поступающих в бассейны рек.

Для решения проблемы охраны водных бассейнов требуется создание механизма прогнозирования процессов разложения растворенного органического вещества в сточных водах, начиная от технологической цепи станции очистки сточных вод, до биоценоза реки, куда загрязнения поступают при сбросе и с дождевым стоком.

Цель разработки – создание системного решения прогнозирования ремедиации водных масс малых и средних рек с помощью технологической и экологической оценки риска в зонах хозяйственно-бытового и промышленно-техногенного загрязнения.

Объектом исследований являлись системы биологической очистки:

- городских и поселковых сточных вод от биогенных элементов,
- водных потоков открытых водоемов для малых и средних рек Московской области.

Испытаниям подвергались коммунальные стоки, предварительно обработанные на традиционных сооружениях аэробной биологической очистки, но не удовлетворяющие требованиям к сбросу в водоемы рыбохозяйственного назначения.

Экспериментальные исследования проводились на лабораторных и пилотных установках, смонтированных непосредственно на городских очистных сооружениях и на пунктах отбора проб, расположенных выше и ниже точки сброса в реку, протекающую по территории Московской области.

При испытаниях производился контроль физико-химических и биологических параметров сточных вод и биоценоза речных потоков.

Пробы сточной воды подвергались физико-химическому анализу по показателям: взвешенные вещества, БПК<sub>5</sub>, нитриты, нитраты, фосфаты.

Установка работала в периодическом режиме и моделировала ступени биологической очистки, реализуемые на городских очистных сооружениях (ОС).

Принцип работы экспериментальной лабораторной установки: в анаэробную колонку-реактор подается исходная сточная вода из городских очистных сооружений (после решетки) и активный ил из линии избыточного активного ила. Периоды работы анаэробного реактора – 0,5; 1,0; 1,5 час, после чего смесь сточной воды и активного ила перекачивалась в соответствующую аэробную колонку-реактор для последующего аэрирования и отстаивания в течение 1 часа. Перед каждым экспериментом установка заполнялась культуральной смесью из аэротенков ОС. Экспериментальная установка работала в режиме 12 и 24 часовых циклов. Бактериальные культуры, ответственные за увеличение объема активного ила – *Zoogloea ramigera*, *Nitrosomonas* и *Nitrobacter* [2], их модель роста в смешанной культуральной среде является гетеротрофной, невзирая на наличие фотосинтезирующих органов.

Таким образом, для разработки методологии прогнозирования ремедиации открытых русел средних и малых рек необходимо учитывать два направления:

- контроль за работой очистных сооружений при использовании методологии моделирования технологических процессов в аэрационных бассейнах очистных сооружений,
- совершенствование фотосинтеза водорослей, участвующих в процессе самоочищения водоема.

Основой контроля технологического фактора является: вывод аналитических зависимостей и математических моделей, в дальнейшем используемых в практике проектирования при строительстве очистных сооружений, а также взаимосвязь параметров процесса.

Основа управления процессом биологической очистки сточных вод - использование чередования фаз кислородной обработки.

Для получения высокой эффективности очистки важно поддерживать высокий возраст активного ила, что делает необходимым непременную реализацию фаз нитри-денитрификации [1].

Стабилизация возраста ила в аэротенках приводит к улучшению его седиментационных свойств (с  $J = 200 \text{ см}^3/\text{г}$  до  $J = 50 \text{ см}^3/\text{г}$ ), способствуют повышению эффективности отстаивания иловой смеси во вторичных отстойниках.

Моделирование ремедиации открытых водных бассейнов учитывает эволюцию загрязняющих веществ на основе реакций деградации первого порядка. Моделируемыми элементами являются: растворенный кислород, БПК/ХПК, ион аммония, биогенные элементы N, P, температура, бактерии.

В аэробных условиях, учитываются следующие процессы:

1) Разложение растворимых загрязняющих веществ, находящихся во взвешенном состоянии, гетеротрофными бактериями:

$$БПК_{\text{выг ра susp}} = \frac{\mu_{\text{max}}}{Y_{\text{max}}} \frac{БПК}{БПК + K_{\text{m БПК}}} \frac{oxy}{oxy + K_{\text{m oxy}}} k_b БПК_{\text{susp}} \theta^{T-20} \quad (1),$$

где  $\theta$  – температурных коэффициент;  $\mu_{\text{max}}$  – максимальная скорость роста ( $d^{-1}$ );  $Y_{\text{max}}$  – эффективность максимального роста;  $K_{\text{m,DBO}}$  – постоянная полу-насыщения для растворенного БПК;  $K_{\text{m,DBO}} = 8,0 \text{ гБПК}/\text{м}^3$ ;  $K_{\text{m,oxy}}$  – постоянная полу-насыщения для растворенного кислорода;  $K_{\text{m,oxy}} = 0,3 \text{ гO}_2/\text{м}^3$ ;  $k_b$  – фракция гетеротрофных бактерий в  $БПК_{\text{susp}} = 0.5-1.0\%$ ;  $oxy$  – концентрация кислорода ( $\text{гO}_2/\text{м}^3$ );  $БПК_{\text{susp}}$  – взвешенное БПК в сточной воде;  $T$  – температура ( $^{\circ}\text{C}$ ).

2) Разложение растворимых загрязняющих веществ иммобилизованными гетеротрофными бактериями (био пленка):

$$БПК_{\text{рост био пленки}} = \sqrt{2D} k_{of} (oxy)^{1/2} \frac{A_{\text{био пленки}}}{V} \theta^{T-20} \quad (2),$$

где  $D$  - коэффициент диффузии кислорода в воде при  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $D = 20 \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $k_{of}$  - удаление кислорода в био пленке при  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $= 3,0 \text{ г}/\text{м}^3 \cdot \text{с}$ ;  $A_{\text{био пленка}}$  - площадь покрытая био пленкой ( $\text{м}^2$ );  $V$  - объем воды ( $\text{м}^3$ ).

Поступление кислорода предполагается как лимитирующий фактор разложения органического растворенного вещества в био пленке.

3) Гидролиз взвешенных веществ (реакции первого порядка):

$$БПК_{\text{hidro}} = k_{hl} БПК_{\text{susp}} \theta^{T-20} \quad (3),$$

где  $k_{hl}$  - константа разложения первого порядка для  $20^{\circ}\text{C}$  ( $d^{-1}$ ),  $k_{hl} = 0,05-0,1 (d^{-1})$ ;  $DVO_{\text{hydro}}$  - скорость гидролиза  $DVO_{\text{susp}}$ .

4) Рост гетеротрофных бактерий ( $k_b \cdot DVO_{\text{susp}}$ ) в зависимости от разложения растворимых загрязняющих веществ в жидкой фазе:

$$БПК_{\text{рост}} = Y_{\text{max}} БПК_{\text{деград. взвеси}} \quad (4),$$

где  $БПК_{\text{гидролиз}}$  - БПК, произведенный в течение роста бактерий.



5) Реаэрация:

$$R_{aэp} = K1 \left( 1 + \frac{K2u^2}{gd_m} \right) 1 + \frac{(su)^{k3}}{d_m} (c_s - oxy) \quad (5),$$

где K1, K2, K3 – константы реаэрации; u - скорость выделения ( $m/c^2$ ); g – ускорение силы тяжести ( $m/c^2$ );  $d_m$  - средняя гидравлическая высота (м); CS: концентрация насыщения кислорода ( $гO_2/м^3$ ); s - уклон сети (м/м).

б) Потребность осадков сточных вод в кислороде.

Потребление кислорода моделируется как константа в зависимости от объемов эрозированных отложений.

Перенос загрязняющих веществ принимается по модели конвекции-диффузии.

Проблемами моделирования являются невозможность интегрирования большого количества параметров и переменных величин. Представленная упрощенная модель прогноза позволит реализовать экологический расчет и прогноз ситуации в водном бассейне.

В качестве экспериментальной модели проточного русла реки для проведения исследований использовался мелководный поток со временем пребывания загрязняющих веществ в жидкой среде в течение 24-48 часов и относительно глубокий резервуар с несколькими видами вертикальных дисков для создания поверхности водорослевого роста.

Целью испытаний являлось определение величины рН, как результата фотосинтеза водорослей в открытом водоеме - реке.

При проведении испытаний физической модели речного потока использовался участок реки Пахра Московской области, где было выявлено, что удаления аммонийного азота и фосфатов достигалось (вплоть до 90%) в летние месяцы за время удельного пребывания потока в течение 24 часов. В зимний период, а также в ночное время, величина рН снижалась из-за образования плотного осадка планктонных видов водорослей в русле реки, утяжеленного фосфатными солями и магниевыми гидроксидами, осажденными из стока. Благодаря этому эффекту водорослевая продукция была получена в форме легко удаляемого гравитацией осадка. Однако состояние системы в значительной степени зависит от различных внешних воздействий, особенно от влияния низких температур в зимнее время.

Для уменьшения потерь внутреннего тепла стока во время холодной погоды был использован относительно глубокий резервуар. Чтобы обеспечить достаточную фотосинтезную активность водорослевой массы для индустрирования необходимых величин рН и создания поверхности водорослевого роста, было использовано несколько видов вертикальных дисков. Пленка водорослей на поверхности дисков была аналогичной водорослевому слою на дне.

После 20 суток функционирования водорослевая пленка толщиной 1,0 мм покрывала всю поверхность дисков. Колония включала *Nitzschia palea*, *Scenedesmus bijugatis*, *Chaetopeltis* sp. и два вида *Lyngbya*.

Проведение эксперимента по обрастанию адгезионных поверхностей в реках базируется на типовых методах респирометрии. Метод основан на контроле концентрации кислорода в реакторе, содержащем бактерии и воду, тестировании на побочные продукты, происходящие из биоценоза активных илов. Преимущество этого метода – возможность его использования для вод с низкой концентрацией ХПК, типичной для рек. Все разбавления осуществлялись водой с низкой концентрацией растворенного органического углерода (приблизительно 0,4 мг/л), не содержащей быстро биоразлагаемого органического вещества. Опыты проводили в герметичном реакторе объемом 20 л при температуре 20 °С. Концентрация растворенного кислорода определялась в каждом из последующих реакторов.

Описание эволюции загрязняющих веществ в моделях прогнозирования ремедиации водных объектов обычно упрощено, основано на реакциях деградации загрязнений первого порядка с учетом биоразложения органического вещества.

В модуле качества также моделируемыми элементами являются: растворенный кислород, БПК/ХПК, аммоний, биогенные элементы N, P, температура и бактерии.

В аэробных условиях динамика изменения моделируемых элементов, учитывают следующие процессы:

- разложение растворимых загрязняющих веществ (БПК), находящихся во взвешенном состоянии, гетеротрофными бактериями;
- разложение растворенного загрязнения (БПК) иммобилизованными гетеротрофными бактериями (био пленка) в зависимости от: коэффициента диффузии кислорода в воде, удаления кислорода из био пленки, площади покрытая био пленкой;
- гидролиз взвешенных веществ, отвечающих реакции первого порядка в зависимости от скорости гидролиза;
- Рост гетеротрофных бактерий ( $k_b \cdot \text{БПК}_{\text{susp}}$ ) в зависимости от БПК;
- Реаэрация;
- Потребность осадковых отложений в кислороде.

Модель прогноза разложение био пленкой органического вещества в водной среде, где скорость биоразложения органического вещества пропорциональна нагрузке по органическим веществам исходит из двух антагонистических процессов: биоразложение органического вещества (имитируемого реакцией 1 порядка снижения БПК) и реаэрацией на поверхности раздела воздух-вода.

Модель экосистемы учитывает биоразложение органического вещества по параметрам: БПК, кислород, азот, фосфор. Косвенно оценивается рост и дыхание бактерий, водорослей; потребление кислорода отложениями и высаливание соединений азота и фосфора. Дополнительно - увеличение нагрузки по органическим веществам и расхода воды во время периода дождей. Изменения этих двух параметров приводит к значительному отклонению по отношению к прогнозам.

Качественная модель реки объединяет гидродинамические и транспортные модели в функциональную модель, описывающая кинетику биохимических процессов применительно к речной экосистеме. Модель учитывает биоразрушения органического вещества с индикацией бактериальной биомассы (табл. 1, 2).

Таблица 1

**Кинетика и стехиометрия биоразложения органического углерода в модели**

№ п/п	Процессы j	Критерий процесса
1	Гидролиз $HP_i \rightarrow HD_i$	$k_i HP_i$
2	Гидролиз $HD_i \rightarrow S$	$e_{j,\max} \frac{HD_j}{k_{j,h} + HD_j} B$
3	Рост аэробов	$Yb_{\max} \frac{S}{K_s + S} B$
4	Отмирание	$k_{db} B$
Скорость наблюдаемой конверсии $r_i = \sum j v_j \rho_j [M / l T]$		

Таблица 2

**Матрица функционирования модели, уравнивающая потребление и потребление нерастворимого и растворимого**

№ п/п	Процессы j	Критерий процесса
1	Гидролиз	$\rho_i [ML^{-3} \cdot T^{-1}]$
2	Накопление S	$k_H \cdot \frac{X_S / X_H}{K_X + X_S / X_H} \cdot X_H$
3	Накопление S <sub>2</sub>	$k_{STO} \cdot \rho_{S_2} \cdot \frac{S_2}{K_{S_2} + S_2} \cdot X_H$
4	Рост аэробов	$\mu^* \cdot X_{STO}$
5	Эндогенное дыхание	$b_H \cdot X_H$
6	Респирация продуктов	$b_{STO} \cdot X_{STO}$

С помощью представленной модели можно изменять необходимое количество осадковых отложений, изменение в органических веществах осадков: сосаждение, биоразложение и переход во взвешенное состояние.

Органическое вещество, каково бы ни было его происхождение: выщелачивание почв, промышленные, сельскохозяйственные или хозяйственно-бытовые сбросы, поступившее в водную систему, может быть использовано для роста бактерий, только после гидролиза бактериальными экзоферментами.

Одна из особенностей этой модели состоит в том, чтобы использовать единицы измерения для органического вещества, отличные от классически использованных единиц, таких как химическая потребность в кислороде (ХПК) и биологическая потребность в кислороде (БПК). В настоящей модели органическое вещество выражено содержанием органического углерода, находящегося в растворенном состоянии и в виде взвешенных коллоидных веществ.

Помимо биоразложения, в модели учитывается также динамика фитопланктона, кинетика роста и погрывы зоопланктоном, а также рециркуляция бентосных питательных веществ.

Все параметры, принятые в уравнениях, описывающих эти процессы, были определены экспериментально и в лаборатории. Описание биологических процессов модели было объединено с описаниями гидродинамики речных систем с влиянием дождей.

Выбор технологических схем при реконструкции систем и сооружений по очистке сточной воды должен основываться на комплексном изучении химических, физико-химических, бактериологических свойств сточных вод, на анализе имеющихся современных технологий по их обезвреживанию.

## **Выводы**

Проведенная экспериментальная работа по изучению прогнозирования открытых водных объектов дала положительный результат.

Она определила направления последующих исследований и позволила уже на данном этапе предложить механизм поддержания и восстановления рек и водоемов России:

## **Библиографический список**

1. Платонова О.А., Шеломков А.С., Захватаева Н.В., Файзуллин А.А., Киекбаев Р.И., Гирфанов Р.М., Опыт эксплуатации очистных сооружений канализации г. Уфы, Ж.Экология и промышленность России, 2016, № 1, с. 25.
2. Павлинова И.И., Алексеев Л.С., Неверова М.А. «Совершенствование биотехнологий в строительстве и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения», Монография. - Москва: МГСУ, 2014. - 152 с. (Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ).

## СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ БЕСТРАНШЕЙНОЙ САНАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ И МЕТОДЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

**А.А. Пелипенко**, магистрант, каф. водоснабжение и водоотведение, НИУ МГСУ;  
**В.А. Орлов**, д.т.н., проф., зав. каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ, г. Москва

Большинство коммуникационных сетей досталось нам в наследство от советских времен. Для водопроводных нужд тогда в силу ряда причин активно использовались стальные трубопроводы. Сейчас срок их службы заканчивается.

По официальным данным, из 700 тыс. км действующих в России трубопроводов более половины поражены внутренней коррозией и другими дефектами, а 50 тыс. км коммуникаций находятся в предаварийном состоянии.



**Рис. 1.** Состояние трубопроводных сетей в России

Старение трубопроводных коммуникаций приводит к:

- потерям напора и снижению пропускной способности
- ухудшению физико-химических показателей питьевой воды
- к возможности повторного заражения вод
- загрязнению подземных и поверхностных вод, почв и атмосферы
- утечке воды, что может повысить уровень грунтовых вод и привести к подтоплению городских территорий.

Одной из наиболее востребованных стала санация так называемым «чулком». Сущность способа – это протягивание в восстанавливаемый трубопровод гибкого полимерного рукава, выполненного из мягкого материала, пропитанного тем или иным видом смолы, с последующей полимеризацией и отверждением пропиточной композиции.

Эта технология позволяет восстанавливать работоспособность трубопроводов диаметром от 150 до 1400 мм с рабочим давлением до 10 атм.,

имеющих сквозные повреждения и частичные разрушения труб, а также защитить их от коррозии и абразивного износа. Поперечное сечение труб может быть круглым, прямоугольным, эллипсоидным или любым другим. Наличие на трубах стандартных поворотов не является препятствием для применения технологии, т.к. рукавное покрытие, выворачиваясь, проходит углы поворотов без вскрытия, что исключает производство земляных работ в местах поворотов. В бестраншейных технологиях санации применяются различные методы установки мягких полимерных рукавов – протаскивание с последующим надуванием воздухом или заполнением водой, а также различные методы полимеризации – воздействием светового излучения, нагреванием воды или подачей пара.

Целесообразно устройство покрытий при следующих видах повреждений:

- трещины;
- свищи;
- абразивный износ.

В связи с тем, что необходима предварительная подготовка, обеспечивающая соосность труб в местах дефектов нецелесообразно применять данный метод при следующих повреждениях:

- раскрытые стыки труб;
- смещение труб в стыках.

По окончании производства работ металлический трубопровод принимает многослойную конструкцию, внутренняя поверхность которого выполнена из полимерного бесшовного рукава, что в свою очередь, обеспечивает герметичность стенок с достижением их высокой сопротивляемости внешним нагрузкам.

Основным требованием к нанесенным полимерным покрытиям является:

- покрытие должно быть сплошным без видимых дефектов;
- соответствие санитарным требованиям;
- наличие сертификатов соответствия.

Полимерный рукав представляет собой многослойную эластичную оболочку, состоящую из трех слоев:

1. Герметизирующий слой – для создания герметичности рукава (удержание связующего и исключение попадания воды в клеевую композицию).

2. Пористое полиэфирное полотно – толщиной от 5 до 15 мм, предназначенное для впитывания и удержания полимерного вязкопластичного материала.

3. Армирующий слой – круглоткацкий рукав из полимерных нитей повышенной прочности. Принимает на себя растягивающие нагрузки во время выворота и выполняет функции продольной и поперечной арматуры во время эксплуатации.

Сравнительные данные по разным составам полимерного рукава представлены в табл. 1.

## Сравнение полимерных рукавов из разных материалов

Состав рукава/показатели	Синтетический войлок	35% стекловолокна	48% стекловолокна
Модуль упругости, Н/мм <sup>2</sup>	3500-4000	7000	12000
Коэффициент редукции, %	2	1,8	1,35
Прочность на изгиб Н/мм <sup>2</sup>	36-38	60	250
Склонность к текучести через 24 часа, %	8-12	6-7	4,4



Рис. 2. Зависимость модуля упругости от материала рукава



Рис. 3. Зависимость прочности на изгиб от материала рукава

Выделяют следующие способы установки:

- Установка полимерного рукава с инверсионной вышки с помощью воды
- Установка полимерного рукава с инверсионным роботом при помощи воздуха
- Установка полимерного рукава из инверсионного барабана при помощи воздуха

В последнее время быстро развивается технология бестраншейного ремонта трубопроводов с применением быстротверждаемое набрызговое покрытие, которое наносится на внутреннюю поверхность трубопровода и допускает наличие на стенках трубопроводов влаги. В рамках работы представлены результаты сравнения проведенных испытаний двух поколений набрызговых покрытий и изменение их качественных показателей.

### **Исследование набрызговых покрытий**

Цель исследования прочностных характеристик внутренних набрызговых защитных полимерных покрытий заключается в определении рекомендуемых минимальных значений толщин покрытий, наносимых на изношенный стальной трубопровод для восстановления его структурной целостности в условиях нарушения его несущей способности на участке определенной протяженности из-за критического значения утонения стенки. Полученные значения толщин покрытий могут быть использованы проектировщиком при разработке проекта реконструкции трубопровода или строителем в качестве справочной информации при производстве работ по реконструкции трубопровода.

В силу того, что цементно-песчаное покрытие при нанесении не образует связанную оболочку, способную перекрывать сквозные дефекты на трубе и самостоятельно сопротивляться нагрузкам и воздействиям в зоне таких дефектов и в местах критического утонения стенки, данный тип покрытия, как правило, не рассматривается в качестве объекта подобных исследований. Покрытие Scotchkote 169НВ на сегодняшний день не применяется при реконструкции трубопроводных сетей в России и уступило своё место более современному покрытию Scotchkote 2400, которое является следующим поколением покрытий типа Scotchkote компании «ЗМ» и применяется во всем мире. Таким образом, в качестве объектов прочностного исследования выступили набрызговые полимерные покрытия Scotchkote 2400 и Subcote FLP.

Всего было проведено 8 испытаний покрытия Scotchkote 2400 и 10 испытаний покрытия Subcote FLP (по числу образцов). В процессе каждого испытания, на персональный компьютер передавались в реальном времени данные по прикладываемой на образец нагрузке (F, Н) и удлинению образца (x, мм). По окончании каждого испытания на монитор компьютера выводились результаты испытаний для данного образца, в числе которых:



максимальная приложенная на образец нагрузка ( $F$ , Н), максимальное возникающее в образце напряжение ( $\sigma$ , МПа), максимальное удлинение образца ( $x$ , мм), максимальная продольная деформация образца ( $\epsilon$ , мм/мм), а также диаграмма деформирования (графическая зависимость  $\sigma = f(\epsilon)$ ).

Необходимо отметить, что разрыв части образцов покрытия Scotchkote 2400 произошел в зоне захватов разрывной машины и результаты таких испытаний считаются недостоверными и не принимаются для дальнейшей обработки. Однако разрыв 5 образцов покрытия Scotchkote 2400 и 7 образцов покрытия Subcote FLP произошел в рабочей зоне, что соответствует требованиям ГОСТ 11262-80 в отношении минимального допустимого количества образцов, прошедших испытания (разрушившихся в рабочей зоне).

На основе результатов проведенных экспериментальных исследований на электромеханической разрывной машине получены средние значения основных физико-механических характеристик покрытий Scotchkote 2400 и Subcote FLP, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2

### Результаты экспериментов на разрывной машине

Наименование покрытия	Максимальная приложенная на образец нагрузка ( $F$ , Н)	Максимальная разрывная прочность ( $\sigma$ , МПа)	Максимальное удлинение образца ( $x$ , мм)	Максимальная продольная деформация ( $\epsilon$ , мм/мм)
Scotchkote 2400	1506,56	30,13	3,007	0,0150
Subcote FLP	1739,92	34,80	5,191	0,0305

На основе данных, полученных в рамках данной работы, можно сделать вывод, что композитные материалы, используемые в набрызговых покрытиях улучшают свои физико-механические показатели, становясь более качественным материалом для использования их в рамках бестраншейной реконструкции трубопроводов.

### Библиографический список

1. Орлов В.А., Хантаев И.С., Орлов Е.В. Бестраншейные технологии. – М.: АСВ.-2016.-223 с.
2. Захаров Ю.С., Орлов В.А. Восстановление водоотводящих сетей полимерными рукавами, М., Кнорус-2017.-109 с.
3. СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 (с Изменениями N 1, 2)

4. Информация на сайте: <http://xn--90acg2babefdpm.xn--plai/%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D0%B8/%D0%B2%D1%81%D0%B5/2014/1/17/%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F-%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B1%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B2-%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%BC-%D1%87%D1%83%D0%BB%D0%BA%D0%BE%D0%BC/>

5. Информация на сайте: <http://xn----ftboahvczfgqe.xn--plai/prokladka-montazh/sploshnie-polimernye-rukava.html>

6. Информация на сайте: [http://www.pwmag.com/water-sewer/structural-cured-in-place-pipe-for-trunk-water-main\\_o](http://www.pwmag.com/water-sewer/structural-cured-in-place-pipe-for-trunk-water-main_o)

7. Информация на сайте: [https://infowire.pl/generic/release/315685/technologie-bezwykorowej-renowacji-3m-scotchkote\\_-2400-nagrodzona-na-konferencji-no-dig-poland-2016](https://infowire.pl/generic/release/315685/technologie-bezwykorowej-renowacji-3m-scotchkote_-2400-nagrodzona-na-konferencji-no-dig-poland-2016)

## БЕСПЛОТИННАЯ ГИДРОУСТАНОВКА НА МАЛЫХ СТОКАХ

**И.Ю. Поспелова**, к.т.н., доц., Иркутский национальный исследовательский технический университет (ИрНИТУ); **Д.А. Корнилов**, магистрант, Иркутский национальный исследовательский технический университет (ИрНИТУ); **М.Я. Поспелова**, ст. преп., Иркутский национальный исследовательский технический университет (ИрНИТУ), г. Иркутск

Существенной проблемой для гидроэлектростанций (ГЭС), независимо от того, какой тип турбин в них применяется, является проблема сохранения экологического состояния самой реки. Плотины на реках нарушают естественную экологию реки, строительство плотинных ГЭС связано с изменением природных условий, как в самой речной системе, так и на прилегающих территориях. Создание плотинных ГЭС влечет ряд неизбежных нарушений природной среды, таких как разрушение берегов, размыв русла реки в нижнем бьефе, повышение уровня грунтовых вод, перестройка фауны водоема.

Кроме структурных природных нарушений возникают и экологические, например, экология рек страдает от перекрытия потока. В результате строительства сооружения появляется непреодолимое препятствие на пути движения рыб. Также негативным эффектом является любое изменение уровня грунтовых вод в результате появления плотины и изменения уровня водоёма [1].

Возникла идея создания гидроустановки для малых потоков, которые часто встречаются в лесной полосе и других зонах и которые могут быть использованы для получения энергии для небольших поселений временного типа, лагерей, профессиональных временных партий и другого назначения. Бесплотинная гидроэлектростанция предназначена для преобразования энергии течения реки и может устанавливаться на любых реках и потоках работать круглогодично, поскольку не боится ледовых образований. Кроме этого сооружение позволит использовать высоконапорные гидротурбины на потоках с низкими напорами.

Задача научной разработки – исключить влияние гидростанций и их строительства на экологию рек и ручьев, на которых они строятся, а также повысить эффективность работы гидроагрегата в заданном диапазоне изменения частоты вращения ротора путем изменения высоты гидротурбины, исходя из мощности водяного потока.

Сооружение сможет поддерживать естественную экологию реки, не поднимающее ее уровень и не боящееся ледовых условий. Оно работает круглогодично эффективно в летних и зимних условиях. Электростанция может устанавливаться на любых реках и иметь достаточные электрические мощности, поскольку содержит элементы, повышающие эффективность работы гидроагрегата путем изменения высоты гидротурбины в условиях колебаний водяного потока и имеет наиболее выгодную геометрию обтекания потоком, при которой идет исключение сбора шуго-ледовых масс в лопастях гидроагрегата.

Уже существуют подобные исследования для сооружений в русле [2] с помещением для редуктора с электрогенератором над местом установки гидрокоса, сооружение перед водозабором имеет ледорезную опору и бонные сети, а боковые стены со стороны входа воды и ее выхода имеют расширения, образующие соответственно конфузорный, рабочий и диффузорный канал. Но недостатками такой конструкции является высокая материалоемкость и стоимость выполнения двухэтажной коробки здания гидроэлектростанции, выполнение подводных работ по сооружению коробки требует применения специальных устройств, а устройство ледорезной опоры также увеличивает материалоемкость и стоимость и ведет к засорению решетки и падению гидравлического напора в гидравлическом колесе, что снижает КПД конструкции. У такой конструкции невозможно регулировать мощность гидрокоса в зависимости от поступающего гидравлического потока.

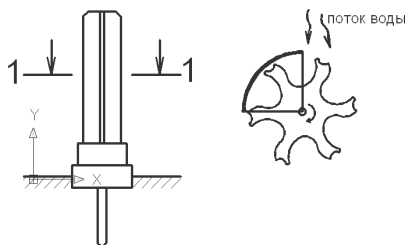
Существуют и сооружения, выполненные в виде бетонированного берега, и размещенное в сооружении гидрокоса кинематически связывают с электрогенератором. Но к недостаткам данной конструкции можно отнести тот факт, что гидравлические возмущения потока воды в реке после гидравлических колес вызывают вредные экологические воздействия и эрозию русла реки, а также низкую эффективность самого гидрокоса, имеющего большое гидравлическое сопротивление, так как лопасть гидрокоса представляет собой перпендикулярную потоку воды плоскость сплошного прямоугольника, не пропускающего сквозь себя поток воды; Невозможность регулирования мощности гидроэлектростанции от изменяющегося гидравлического потока также являются недостатками. Поэтому, основными задачами, связанными с разработкой универсальной конструкции получения энергии было устранение следующих недостатков:

- Незащищенность гидрокоса от плавучих в воде предметов, которая значительно снижает его надежность
- Сложность конструкции и наличия сборных мелких деталей, что также снижает безаварийную работу и надежность конструкции.
- Расположение электрогенератора над поверхностью реки дает возможность разрушения его шуго-ледовыми массами, идущими по сибирским рекам в весенний период. То есть необходимо оставлять движущиеся части всегда под поверхностью воды

Авторами поставлена задача возможности более полного использования гидравлической энергии рек, вне зависимости от их размеров на всю глубину круглогодично, с достижением хороших электрических мощностей и регулированием неравномерности потока, без использования плотин и водохранилищ, нарушающих экологию реки и сохраняющую естественный ландшафт земли.

Для ГЭС небольшой мощности предпочтительно использование принципа активных турбин, вместо реактивных, так как активные турбины, по сравнению с реактивными, имеют более высокий гидравлический КПД и решается проблема гидравлического удара в трубах водовода.

Разрез и вид сверху устройства приведен на рис. 1.



**Рис. 1.** Устройство гидроустановки для малых потоков

Гидроэлектростанция содержит установленное в русле реки сооружение, состоящее из гидроколеса с вертикальной осью, помещением для редуктора и электрогенератором с подводным герметичным исполнением. Фундамент снабжен вертикальным заостренным стержнем, позволяющим закрепить конструкцию в необходимом месте дно реки. Гидроколесо, работающее по принципу активной турбины с вертикальной осью, к которой закреплена с возможностью поворота вокруг оси своего крепления вращающаяся конструкция, по периметру которой выполнены под углом гнутые желоба. Каждый желоб выполнен в виде закругленных пластин, таким образом, что проходящий поток проникает в конструкцию под прямым углом и далее изгибается по каналу, вращая гидроколесо. Гидроколесо имеет защитную пластину, направляющую гидравлический поток. Для возможности защиты от промерзания были предусмотрены включения в виде сфер из материала с фазовым переходом, что обеспечивает плавное охлаждение [4], поскольку материал содержит скрытую теплоту, которая может быть преобразована при средних температурных колебаниях в природных условиях.

Разработанная конструкция была смоделирована, а затем протестирована в прикладных программах конечно-элементного моделирования и показала хорошие гидравлические и теплодинамические характеристики. По материалам моделирования готовится патент на изобретение.

#### Библиографический список

1. Брызгалов В.И., Гордон Л.А. Гидроэлектростанции. Учебное пособие. — Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. — 541 с.
2. Гидроэлектростанция. Полезная модель. Патент на изобретение RU 2 171 910. Толмачев В.Н., Боровиков С.Н., Савчук А.Д., Лесина Л.Л.
3. Речная береговая гидроэлектростанция. Полезная модель. Патент на изобретение RU 2020260 автор Керов В.Г. F03B7/00
4. I. Pospelova. Determination of Optimal Heat-Storage Thickness of Layer for "Smart Wall" by Methods of Nonlinear Heat Conduction Equations for Phase-transition Materials. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technology Safety (ICCATS 2017) 21–22 September 2017, Chelyabinsk, Russian Federation. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/262/1/012031>

## СИСТЕМНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ СНЕГОУДАЛЕНИЯ В ГОРОДЕ МОСКВЕ

О.Г. Примин, д.т.н., проф., АО «МосводоканалНИИпроект», г. Москва

Анализ расположения крупных городов и мегаполисов на территории нашей планеты выявил самую главную особенность города Москвы. Нет больше ни на одном континенте такого мегаполиса, который бы при столь большой численности населения (в Москве проживает на настоящий момент более 11 млн. чел.) находился бы в аналогичных географо-климатических, инженерно-геологических, гидрологических условиях. Практически все мегаполисы или крупные города находятся существенно южнее широты расположения Москвы.

Сильный снегопад и гололедные явления способны привести город к состоянию коллапса, когда «пробки» образуются на всех дорогах и даже специальный транспорт не в состоянии проехать к месту назначения. Поэтому уборка снега с дорог и тротуаров территории городов северных регионов, к которым относится такой мегаполис, как город Москва является необходимым условием его нормального функционирования в зимний период.

Существующая ранее система снегоудаления в городе Москве была ориентирована на сброс снежной массы в открытые водоёмы – реки Москва, Яуза, Сходня и др. [1, 2].

Как показали многолетние наблюдения, происходило загрязнение речной воды и образование высококонцентрированных техногенных примесей в донных отложениях, что негативно влияло на экологию. Использование технической соли в период с 1996 до 2000 года согласно расчетам специалистов составляло порядка 350 тысяч тонн в месяц. Общее количество загрязнений, поступавших в реки с неочищенными тальми водами, составляло около 60% валовых сбросов загрязнений в водоёмы города. В ряде случаев концентрации в сбрасываемом в реки снеге превышали ПДК по нефтепродуктам в 500-3000 раз, по хлоридам в 20-100 раз, по солям тяжелых металлов – 500-2000 раз. [1, 2, 3].

Одновременно с загрязнением поверхностных вод водоёмов происходило загрязнение почв на территории города Москвы при естественном таянии снега и применении противогололёдных реагентов на базе хлор-натриевых соединений.

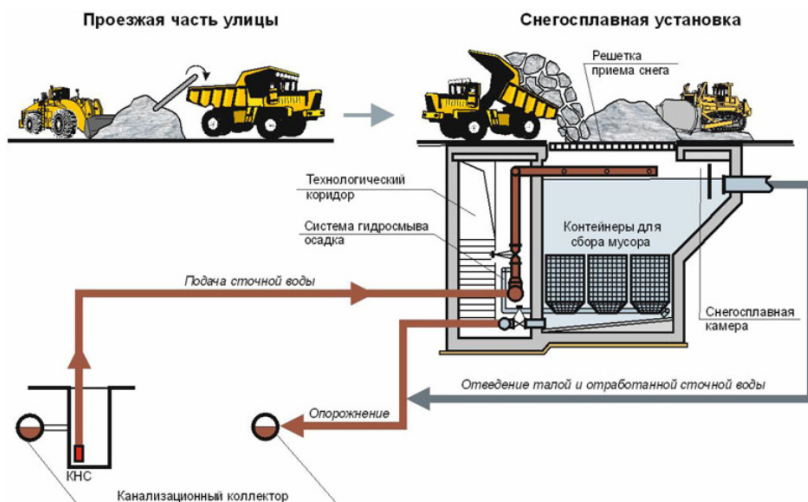
Правительством Москвы, ДЖКХ города в начале 2000 годов перед АО «МосводоканалНИИпроект» и АО «Мосводоканал» была поставлена задача решения проблемы снегоудаления промышленными методами, исключив сброс снежной массы в водоёмы города и его вывоз на сухие снеготаялки. В 2002 году АО «МосводоканалНИИпроект» была разработана и утверждена Правительством Москвы Генеральная схема снегоудаления в г. Москве. [2].

В Генсхеме был реализован новый подход утилизации снега с использованием низкопотенциального тепла, что позволило полностью исключить экологически опасные сухие снеготаялки и сброс снежной массы в р. Москву и Яузу. Решение проблемы промышленной утилизации снега базируется на использовании индустриальных методов обработки вывозимого снега, к которым относятся:

- стационарные снегосплавные пункты на крупных коллекторах городской канализации АО «Мосводоканал» (ССП);
- ССП на промывных водах ТЭЦ;
- ССП с применением дизтоплива и газа;
- ССП системы ГУП «Мосводосток»;
- мобильные снеготаяльные установки, (МСУ);

Построенные в соответствии с Генсхемой снеготаялки в г.Москве 2002 года сооружения снеготаяния должны были обеспечивать утилизацию снега, убираемого с дорог всех категорий, общей площадью в то время 75 км<sup>2</sup>, в расчетный год 80% обеспеченности, что соответствовало требуемому объему вывозимого снега - 36 млн. м<sup>3</sup> снега, (при плотности 0,3 т/куб. м.) [4, 5].

Основная масса снега утилизируется на стационарных ССП, рис. 1.



**Рис. 1.** Схема утилизации снега на стационарном снегосплавном пункте

Этот проект по утилизации снега на снегосплавных пунктах, на коллекторах Московской канализации, разработанный АО «Мосводоканал-НИИпроект» является единственным подобного рода в нашей стране. Процесс технологической переработки (плавления) снежной массы на ССП осуществляется за счет подачи в снегоприемные бункеры сточной воды из городских канализационных каналов и коллекторов. При контакте со сточной водой, среднегодовая температура которой составляет 18 °С, снег рас-

тапливается и сбрасывается обратно в канализационные коллекторы и далее вместе со сточными водами поступает на станции аэрации.

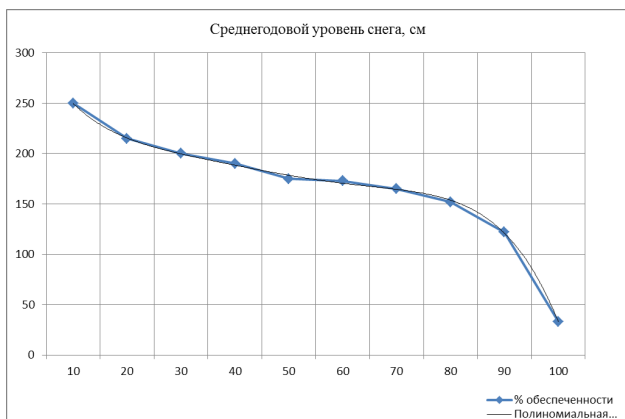
Для измельчения снежной массы и отсеивания крупного мусора в приемных бункерах установлены сепараторы-дробилки.

Очевидно, что в основу Генсхемы снегоудаления 2002 года были положены выявленные для того времени закономерности загрязнения снежного покрова и формирования объемов выпавшего снега и базировался на данных измерения уровней снега за период 1946 – 1979 годов, т.е. данных 40 – 70 – летней давности.

Изменившиеся в последние годы метеорологические условия в г. Москве, увеличение высоты снежного покрова, площади убираемого дорожного покрытия, необходимость учета объема снега, сброшенного с крыш, новая технология уборки улиц, дворов и тротуаров, сокращение регламентных сроков вывоза снега, изменили исходные данные для расчета объемов вывоза и утилизации снега и потребовали анализа и оценки существующей системы сбора и утилизации снега и, соответственно, актуализации Генеральной схемы снегоудаления в г.Москве.

Выполненная в актуализированной Генсхеме статистическая обработка метеорологических данных по интенсивности снегопадов показала, что в последние годы происходит резкое увеличение как годовой, так и суточной высоты слоя снега и, соответственно, увеличивается высота снежного покрова на территории города и объем утилизируемого снега.

В Генсхеме снегоудаления в г. Москве 2002 года в качестве расчетной величины среднегодовой высоты выпавшего слоя снега было принято 80 см при 80% обеспеченности по выпавшему снегу. В актуализированной Генсхеме обоснована расчетная величина высоты снежного покрова, на которую должна ориентироваться система снегоудаления - 152 см при 80% обеспеченности по выпавшему снегу, рис. 2. [6]



**Рис. 2.** Обеспеченность расчетной величины высоты снежного покрова на территории города Москвы



В настоящее время площадь объектов дорожного хозяйства г. Москвы, с которых вывозится снег увеличилась с 75 до 108 км<sup>2</sup> расчетный объем утилизируемого снега увеличился в 1,52 раза, что соответственно увеличило затраты на сбор, транспортировку и утилизацию снега с объектов ОДХ г. Москвы.

По новой Генсхеме снегоудаления в Москве предусматривается прием до 80 % снежной массы на снегосплавные пункты, устроенные на канализационных коллекторах с последующей совместной очисткой талых и сточных вод на городских станциях аэрации; оставшаяся часть снежной массы направляется на снегосплавные пункты системы водостока и на мобильные снеготаялки.

В настоящее время в г. Москве эксплуатируется: 146 МСУ на улично-дорожной сети и дворовым территориям административных округов, 35 стационарных снегосплавных пунктов (ССП) АО «Мосводоканал» и 13 ССП ГУП «Мосводосток». Эта система обеспечивает утилизацию в зимний сезон до 50 млн. м<sup>3</sup> снега.

Динамика поступления сточных вод в систему водоотведения в Москве с 1998 г по настоящее время свидетельствует об устойчивом снижении притока сточных вод в московскую систему канализации на 4–5% в год. В результате к 2017 году среднесуточная нагрузка на очистные сооружения в целом снизилась до 66 % от проектной. Таким образом, гидравлические условия работы московских очистных сооружений за последние 10-15 лет стали более благоприятными. Открылись возможности дополнительного приема сточных вод от пригородной зоны. Реально увеличение валового объема принимаемого стока за счет приема поверхностного, дренажного стоков, а также расширения системы сбора и утилизации снега с территории города.

В актуализированной Генсхеме снегоудаления в г. Москве приведена оценка влияния снегосплавных пунктов, расположенных на канализационных коллекторах на работу городской канализационной сети и городских станций аэрации. Расчеты подтвердили допустимость сброса снега в канализацию, даже в случае, если весь снег с дорог будет направляться в канализацию, его объем после таяния составит лишь около 2% от объема канализационного стока. И даже если не учитывать эффект очистки в снегосплавных пунктах увеличение концентрации загрязнителей окажется пренебрежимо малым. Установлено, что, система ССП на канализационных сетях оказывает влияние на очистные сооружения города только по одному показателю – нефтепродуктам.

На Курьяновских очистных сооружениях нагрузка по нефтепродуктам в зимний период возрастает до 2-х раз по сравнению с летней. Однако благодаря хорошей адаптации активного ила очистных сооружений данный прирост нагрузки в зимние периоды года не повлек за собой выраженного ухудшения качества очищенных сточных вод ни по нефтепродуктам, ни по другим показателям.

Установлено, что при утилизации снега на ССП предотвращается поступление значительного количества загрязнений, находящихся в снежной

массе, в частности, нефтепродуктов 1 012,3 т за сезон, взвешенных веществ – 41 220,9 т, железо – 866,4 т и др. Это предотвращает экологический ущерб окружающей среде города Москвы в зимний период и является положительным эффектом реализации индустриальной системы снегоудаления.

При разработке актуализированной Генсхемы снегоудаления в г. Москве была дана оценка влияния противогололедных реагентов (ПГР) на состояние окружающей среды, в частности на состояние снежного и почвенного покрова.

Начиная с зимнего периода 2011–2012 г.г в Москве реализуется принципиально иная «Технология зимней уборки проезжей части магистралей, улиц, проездов и площадей объектов дорожного хозяйства г. Москвы (ОДХ) с применением противогололедных реагентов и гранитного щебня». По сравнению с ранее действующей технологией зимней уборки эта технология основана на применении более безопасных противогололедных материалов (ПГМ), [8].

В соответствии с Программой мониторинга влияния ПГР на компоненты окружающей среды в Москве природоохранными органами проводится отбор проб поверхностных водных объектов в контрольных створах. [8].

Анализ результатов мониторинга показал, что в последние два года по средним концентрациям, превышений нормативов культурно-бытового водопользования по основным действующим в ПГР веществам в р. Москва не зафиксировано. Это положительный эффект реализации Генеральной схемы снегоудаления в г. Москве. В целом, принятые технические решения при зимнем содержании объектов дорожного хозяйства в г. Москве обеспечивают допустимый уровень воздействия на водные объекты города.

Во многом это связано с тем, что утилизация снега на снегосплавных сооружениях значительно меняет первоначальную концентрацию загрязнителей в растаявшем снеге и в канализацию поступает вода с сильно изменившимися показателями загрязнений.

В то же время, анализ системы снегоуборки и противогололедной обработки дорожных покрытий города выявил необходимость выработки дополнительных мероприятий и подходов к указанным проблемам. Так, в частности, номенклатура существующих отечественных реагентов недостаточно удовлетворяет требуемым показателям снижения их негативных воздействий на природную среду по содержанию хлора и азото-фосфатов.

Количество выпускаемых промышленностью относительно безопасных реагентов недостаточно для удовлетворения потребностей города, как в валовом, так и номенклатурном выражении. Неудовлетворительно положение с обеспечением городских служб средствами малой механизации процессов снегоуборки и противогололедной обработки. Недостаточна дифференциация методов реализации указанных схем для территорий различного функционального назначения, а также для разных районов города и, особенно, его центральной части.

Указанные обстоятельства определили необходимость продолжения работ по созданию новых противогололедных реагентов Актуализированной Генеральной схемой снегоудаления в городе Москве с целью уменьшения отрицательных последствий применения ПГР предлагаются следующие мероприятия:

1. Сокращение количества применяемых ПГР до минимально необходимых величин за счет их строгой дозировки в зависимости от различных внешних факторов (метеорологического состояния, дорожных покрытий, интенсивности движения и т.д.);

2. Сочетание механического и химического способов обработки снега и дорожных покрытий, обеспечивающее минимальный расход реагентов, с предпочтением к предварительной механической уборке снега с последующей обработкой реагентами его остатков и дальнейшей уборкой талого снега, если высота его слоя составляет более 1-2 см.

3. На основании данных системы прогнозирования погодных условий использование превентивной обработки дорожных покрытий жидкими реагентами.

В целом можно утверждать, что реализация Генсхемы снегоудаления в г.Москве существенно улучшила экологическую ситуацию в г. Москве. Однако, отмечены проблемы с негативным воздействием (газовые выбросы и неприятный запах) на некоторых ССП на коллекторах канализации, расположенных вблизи жилой застройки. В этой связи предлагается разработать предпроектные решения по предотвращению газовых выбросов от ССП АО «Мосводоканал», находящихся вблизи жилой застройки, используя опыт перекрытия отдельных сооружений канализации станций аэрации г. Москвы.

В сложившейся ситуации изменения в Центральной России и в том числе в городе Москве климатических условий и увеличения объемов выпавшего снега в АО «МосводоканалНИИпроект» сформулированы предложения по интенсификации работы системы снегоудаления в экстремальные снегопады.

Простой расчет показывает, что перевозка снега в условиях города с напряженными транспортными потоками по стоимости сравнима с затратами на энергию, требующуюся для плавления этого снега на месте его образования.

Такому режиму работы отвечает использование мобильных снеготаялок, которые доставляются к месту образования снега и работают, пока не расплавят необходимое количество снега, а затем перевозятся на следующее место.

Именно использование мобильных снеготаялок позволит во многом решать проблему утилизации снега в экстремальные снегопады, рис. 3.

Представляется целесообразным при проектировании вновь строящихся или модернизируемых ССП, а также при использовании небольших мобильных снеготаялок принимать к рассмотрению возможность притока к ним высокотемпературных стоков бань, прачечных и плавательных бас-

сейнов. Принимая во внимание бурное развитие городского метрополитена и применение современных средств и аппаратов для обеспечения его бесперебойного функционирования, следует предусматривать сбросы сточных вод метрополитена в технических расчётах ССП.



**Рис. 3.** Мобильная снеготаялка VULCAN

К объектам промышленности и энергетики как потенциальных источников тепла для их использования в схеме снегоудаления в г. Москве следует отнести широкую группу производственных предприятий и ТЭЦ. Необходимо отметить, что промышленные предприятия являются как самыми мощными потребителями воды на технические и бытовые нужды, так и абонентами, отводящими наибольшее количество сточной воды в городскую канализационную сеть. Производственные стоки характеризуются специфическими загрязнениями техногенного органического и минерального происхождения, а также широким диапазоном температур от 15 до 40 °С, что несомненно следует учитывать при рассмотрении их использования для плавления снежной массы с учётом их месторасположения в городе как внутри жилой застройки, так и в составе промзон, включающих группы разнопрофильных предприятий.

В настоящее время действуют снеготаятельные установки на 4-х ТЭЦ из 15 действующих на территории города. Представляется возможным более широкое использование для этих целей избыточного тепла ТЭЦ, которые являются наиболее крупными источниками такого тепла на территории города.

В центральной части города расположены 7 ТЭЦ и ГЭС-1, остальные ТЭЦ расположены в округах и тяготеют к внешней границе города. Практически во всех административно-территориальных округах г. Москвы имеются ТЭЦ. Собственно на территории СВАО ТЭЦ отсутствуют, однако к этому округу достаточно близко расположена ТЭЦ-27 Северная. Эти объекты являются наиболее крупными источниками избыточного тепла, возможность использования которого требует дополнительного анализа.

Учитывая аномальные снегопады этого зимнего сезона, нами даны первоочередные организационные предложения по схеме снегоудаления в экстремальных периодах выпадения снега в г. Москве.

- временное складирование «чистого свежевыпавшего снега» на прилегающих газонах с обеспечением сохранности зелёных насаждений,

- на территории префектур предусмотреть площадки для размещения МСУ, внести их в паспорта «Планировочное решение и благоустройство территории», разрешить утилизацию снега на МСУ с городских магистралей и остановок автотранспорта,

- при ширине тротуаров 6 м и более разрешить занимать под складирование снега до 2 м его ширины,

- разрешить организациям, эксплуатирующих стационарные снегосплавные пункты, выходить на форсируемые режимы снеготаяния с целью увеличения производительности ССП.

При наиболее экстремальной ситуации – невозможности использовать перечисленные мероприятия – выйти на штатный режим по сбору и утилизации снега в течение суток разрешить (с обеспечением соответствующего контроля) «чистый свежевыпавший» снег сбрасывать в водотоки города. Для этого обозначить и согласовать места сброса «чистого свежевыпавшего» снега на водотоках, разработать быстромонтируемые приспособления для сброса снега с автомобилей. При выходе на штатный регламент места сброса в водотоки ликвидируются.

## Выводы

1. В последние годы происходит изменение климатических условий - резкое увеличение как годовой, так и суточной высоты слоя снега и, соответственно, увеличивается высота снежного покрова на территории города Москвы и объем выпавшего и утилизируемого снега.

2. Уникальная, не имеющая мировых аналогов по масштабу и техническому обеспечению, организация промышленного снегоудаления может, при соответствующей эксплуатации и выполнении организационно-технических мероприятий актуализированной Генсхемы снегоудаления,

обеспечить нормальное функционирование г. Москвы в зимний период и значительно сократить экологическую нагрузку на гидрографическую сеть мегаполиса.

3. Исследования показали, что сооружение новых снегосплавных пунктов в г. Москве на канализационных коллекторах (за исключением Южного Бутово) практически невозможно из-за отсутствия участков с подходящими условиями вблизи крупных коллекторов. Эти факторы и анализ возможностей существующей системы сбора и утилизации снега в г. Москве показали, что основное направление актуализации Генсхемы снегоудаления – это снижение затрат на утилизацию снега за счет децентрализации сооружений снеготаяния (уменьшение плеча вывоза), широкое использование мобильных снеготаялок, источников низкопотенциального тепла (ТЭЦ, бани, прачечные, бассейны, объекты промышленности, метрополитен).

#### Библиографический список

1. «Генеральная схема снегоудаления в г. Москве» Распоряжение Правительства Москвы Премьера от 25.04.2000 № 408-РП «Об утверждении Целевой комплексной программы организации «сухих» снегосвалок, снегосплавных камер и снеготаялок в соответствии с экологическими требованиями на 2001-2003 гг.», утверждена Правительством Москвы в 2002 году.

2. Храменков С.В., Пахомов А.Н., Богомолов М.В. и др. Система удаления снега с использованием городской канализации // Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 10. С. 19-22

3. Корецкий В.Е. Инженерно-экологическая защита водной системы северного мегаполиса в зимний период Материалы 7-го Международного Конгресса "Вода: экология и технология"- "ЭКВАТЭК-2006", М.: 2006.

4. Шеломков А.С., Щигал Т.А. Снегосплавные пункты на коллекторах московской канализации // Проекты развития инфраструктуры города. Инженерные системы и оптимизация водопользования. Вып.2. Сб. статей. М.: Изд-во Прима-Пресс-М, 2002, с. 75 – 77.

5. ОАО «Мосводоканал» [сайт]: URL: <http://www.mosvodokanal.ru/index.php?newsid=529> (дата обращения: 20.01.2015).

6. Примин О.Г. Системное решение проблемы уборки и утилизации снега в Москве. // Водоснабжение и санитарная техника 2015, № 4, с. 37-38.

7. Распоряжение ДЖКХиБ г. Москвы от 28 сентября 2011 года № 05-14-650/1 Об утверждении Технологии зимней уборки проезжей части магистралей, улиц, проездов и площадей (объектов дорожного хозяйства г. Москвы) с применением противогололедных реагентов и гранитного щебня фракции 2-5 мм (на зимние периоды с 2010-2011 гг. и далее)

8. Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2016 году» / Под ред. А.О. Кульбачевского. - М.: ДПиООС; НИиПИ ИГСП, 2017. – 363 с.

# ПРОГНОЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В РЕКЕ ТОЛИТЬ ОТ СТОРОВ ВОДОВЫПУСКОВ

**М.Ю. Слесарев**, д.т.н., проф., НИУ МГСУ; **Нгуен Динь Дап**, аспирант, НИУ МГСУ, г. Москва

## Введение

Наряду с высокой первоначальной плотностью населения и миграцией из сельской местности плотность населения в городе увеличивается все больше и больше, в то время как ограниченная техническая инфраструктура и усиление загрязнения водных объектов сточными водами от промышленности и коммунальных структур создают огромное влияние на водную среду города. Антропогенное загрязнение в значительной степени происходит за счет неорганизованного сброса сточных вод с территорий населенных районов, промышленных предприятий, с сельскохозяйственных территорий [1, 2].

Толить является основной рекой в системе водоотводящих рек г. Ханоя. Река длиной в пределах города 17 км, принимает осадки и сточные воды с бассейна площадью 77,5 км<sup>2</sup> и переносит их в реку Ньюэ и реку Красную с расходом 0,07 м<sup>3</sup>/с [1].

В настоящее время вся речная система ежедневно получает примерно 150000 м<sup>3</sup> сточных вод в местах сброса. Кроме того, в неё попадают также сточные воды из рек Лы и Кимнгу. Из-за малого расхода воды и большого объема поступающих органических загрязнителей, остатков пищевых продуктов и тяжелых металлов качество воды в реке постоянно ухудшается [3].

Необходимость регулярного анализа и оценки качества воды в реках и разработка научных основ мониторинга и прогноз качества воды и эффективных современных инженерных методов поддержания экологического состояния водных объектов являются чрезвычайно актуальными для столицы Вьетнама.

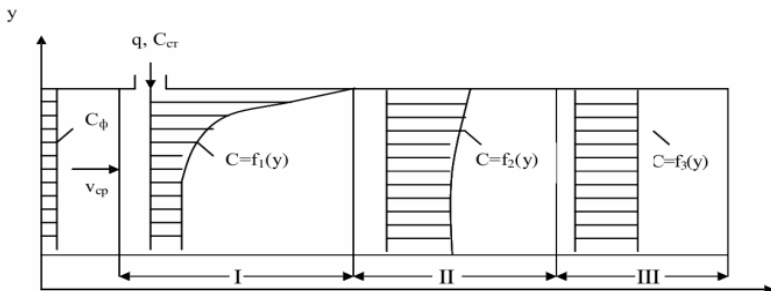
Цель настоящего исследования - оценка экологического состояния качества воды реке Толить и разработка математического моделирования и прогноз распространения загрязняющих веществ в реке Толить от водовыпусков сточных вод.

## Объект исследования

Толить - крупная река в центре г. Ханоя. В систему этой реки поступают сточные воды от почти двух миллионов жителей и 100 производственных предприятий из пяти промышленных зон центральной части Ханоя. Толить имеет длину 17 км, среднюю ширину 45 м, среднюю глубину 2,6 м. В русле р. Толить накоплено около 284000 м<sup>3</sup> осадка (в общей сложности 7347 тонн) металлов-загрязнителей. Суммарная нагрузка от этих металлов к устью р. Толить составляет 161,7 кг/сутки.







**Рис. 2.** Принципиальная схема распространения сточных вод для водотоков

При этом происходит разбавление примесей: по мере удаления от места поступления примеси в поток ее концентрация постепенно снижается и при наличии самоочищения приближается к фоновой.

Средняя концентрация примеси определяется из уравнения материального баланса:

$$C_{cp} = \frac{q \cdot C_{ст} + Q \cdot C_{ф}}{q + Q}, \quad (1)$$

где  $C_{cp}$  – средняя концентрация примеси, мг/л,  $C_{ф}$  – фоновая концентрация, мг/л,  $Q$  – расход воды в реке, м<sup>3</sup>/с,  $q$  – расход сточных вод, м<sup>3</sup>/с.

Исходные данные программы Waste 4.5 включают следующие данные: длину расчетного участка  $L$ , м; среднюю ширину  $B$ , м; среднюю глубину на исследуемом участке  $H$ , м; среднюю скорость течения  $V$ , м/с (табл. 1).

*Таблица. 1*

**Параметры водного объекта - реки Тольить**

<b>L, м</b>	<b>B, м</b>	<b>H, м;</b>	<b>V, м/с</b>	<b>Q, м<sup>3</sup>/с</b>
17000	45	2,6	0,07	8,19

## Результаты исследования

### *Мониторинг фоновых концентраций качества воды в реке Тольить*

Для определения фоновых концентраций качества воды в реке Тольить, проводится мониторинг качества воды в контрольном створе, расположенного в начале реки Тольить (от озера Тай 500 м). Результаты мониторинга фоновых концентраций в контрольном створе представлены в табл. 2.

## Фоновые концентрации загрязняющих веществ в реке Толька

№	Вещество	Группа ЛПВ	ПДК, мг/л	С <sub>ф</sub> , мг/л	С <sub>ф</sub> /ПДК
1.	БПК <sub>5</sub>	общ.	15	21	1,4
2.	Фосфор общий	общ.	1,5	1,8	1,2
3.	Азот аммонийный	токс.	0,4	0,42	1,05
4.	Взвешенные вещества	с.-т.	35,25	35	0,99
5.	СПАВ	рыб.	0,1	0,16	1,6
6.	Нефтепродукты	рыб.	0,05	0,07	1,4
7.	Железо общее	токс.	0,1	0,25	2,5
8.	Мышьяк	токс.	0,05	0,002	0,04
9.	Свинец	токс.	0,001	0,0002	0,2
10.	Кадмий	токс.	0,001	0,0012	1,2

Как следует из табл. 2, показатели БПК<sub>5</sub>, фосфора общего, азота аммонийного, СПАВ, нефтепродуктов, железа общего и кадмия превышают ПДК; и показатели: взвешенных веществ, мышьяка и свинца меньше, чем ПДК.

**Результаты моделирования изменения максимальной, средней концентрации загрязняющих веществ**

Для расчета распространения загрязняющих веществ в водотоке принимают некоторые допущения:

- морфологические и гидрологические параметры постоянны на рассматриваемом расчетном участке, что обуславливает однородность модели;
- принимается распределение вещества одинаковым по всем осям координат (модель считается изотропной);
- вследствие того, что глубина водотока мала по сравнению с шириной и длиной участка водотока, распределением концентраций по глубине можно пренебречь и принять модель двумерной;
- пренебрегается изменением процесса во времени, в частности не учитываются возможные изменения в режиме работы источников загрязнения (модель считается стационарной).

Для расчета выбирается однородная изотропная двумерная стационарная модель, позволяющая рассчитать конвективно-диффузионный перенос и превращение веществ с учетом неконсервативности примесей. Уравнение модели получено путем преобразования основного уравнения [5]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V_x \frac{\partial C}{\partial x} + V_y \frac{\partial C}{\partial y} + V_z \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) - \mu_c \quad (2)$$

где  $C$  – мгновенное значение концентрации;  $x, y, z$  – координаты по соответствующим осям;  $V_x, V_y, V_z$  – средние скорости течения по соответ-

вующим осям;  $D_x, D_y, D_z$  – коэффициенты турбулентного переноса или диффузии;  $\mu_c$  параметр неконсервативности.

По результатам, используя программу моделируются изменения максимальной и средней концентрации загрязняющих веществ [5].

Концентрация начального разбавления ( $C_{н.р}$ ) – начальная концентрация вещества в месте выбора. При расчете начального разбавления для каждого источника любой конфигурации используются следующие соотношения:

$$C_{н.р} = \frac{C_{ср}^* \cdot N_y - C_{\phi} N_y - N_3}{N_3} \quad (3)$$

$$Q = B.H.V_x \quad (4)$$

где  $C_{ср}^*$  – среднее значение концентрации, определенное из уравнения баланса вещества (1), мг/л;  $V_x$  – средняя скорость течения, м/с;  $N_y$  – число клеток по ширине реки;  $N_3$  – число клеток загрязнения,  $N_3$  рассчитывается исходя из конфигурации источника, если источник сосредоточенный, то, обычно это одна клетка.

Усло реки на рассматриваемом участке принимаем прямоугольным.

В общем случае для каждого источника рассчитывается относительное начальное разбавление (за вычетом фоновой концентрации) и все источники помещаются на обнуленное поле концентраций, соблюдая их конфигурацию. Затем происходит перерасчет всего поля концентраций с начала участка и до конца по течению с захватом всех встретившихся источников.

Для контрольного створа выполняется расчет следующих параметров: среднее значение концентрации в створе ( $C_{ср}$ ), максимальное значение концентрации ( $C_{макс}$ ) от каждого источника, суммарное максимальное значение концентрации ( $C_{макс}^{сум}$ ), кратность разбавления, рассчитываемая по формуле [5]:

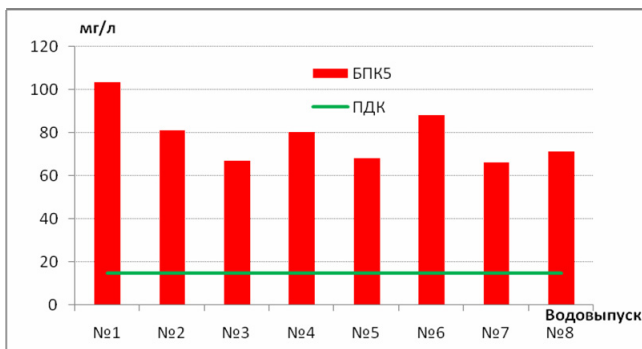
$$n = \frac{C_{ст} - C_{\phi}}{C_{макс} - C_{\phi}} \quad (5)$$

Кратность разбавления является величиной постоянной для различных значений  $C_{ст}$  при фиксированных параметрах модели, что говорит о линейной зависимости максимальной концентрации от концентрации стока. Кратность разбавления используется при расчете нормативов допустимого сброса (НДС). При значении  $C_{ст}$ , приближающемся к  $C_{\phi}$ , кратность разбавления, как характеризующий параметр, использовать нельзя.

Степень перемешивания (P), выражаемая в процентах:

$$P = \frac{C_{ср}}{C_{макс}} \cdot 100\% \quad (6)$$

БПК является одним из важнейших критериев уровня загрязнения водоема органическими веществами, она определяет количество легкоокисляющихся органических загрязняющих веществ в воде. БПК есть количество кислорода, израсходованное за определенное время (за 5 суток - БПК<sub>5</sub>) в аэробных условиях на окисление органических веществ, содержащихся в единице объема воды. По результатам мониторинга, концентрации БПК<sub>5</sub> изменялись от 66 мг/л (точка №7) до 103 мг/л (точка №1), и превышали от 4,4 до 6,9 ПДК (рис. 3).



**Рис. 3.** Концентрации БПК<sub>5</sub> сточных вод вблизи водовыпусков

По результатам использования программы для моделирования изменения максимальной, средней концентрации загрязняющих веществ получена табл. 3 и рис. 4.

*Таблица 3*

**Результаты расчета концентраций БПК<sub>5</sub> в реке Тольятль**

№	Сст	Сср*	Сн.р.	Смах*	n	P*	q. Сст
1	103	25,72	68,18	26,2	15,77	98,16	51,5
2	81	24,19	52,91	24,69	16,27	97,99	37,26
3	67	21,69	27,92	21,85	54,34	99,29	8,375
4	80	25,03	61,27	26,92	9,972	92,98	48
5	68	21,21	23,11	21,47	100,7	98,81	2,516
6	88	21,41	25,15	21,94	71,08	97,59	4,488
7	66	23,2	42,95	28,12	6,324	82,5	27,72
8	71	23,05	41,49	28,09	7,055	82,06	24,85

С использованием карты, графика и значений концентрации загрязняющих веществ по реке (по длине и ширине) получаем: максимальная концентрация БПК<sub>5</sub> превышает 2,8 ПДК; средняя концентрация БПК<sub>5</sub> превышает 2,1 ПДК (рис. 5, рис. 6).

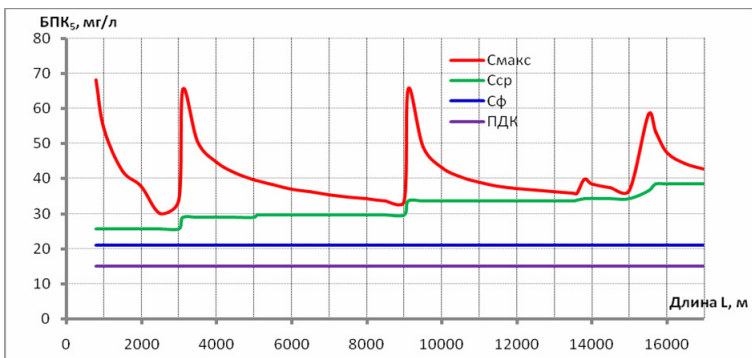


Рис. 4. График изменения максимальной и средней концентрации БПК<sub>5</sub>

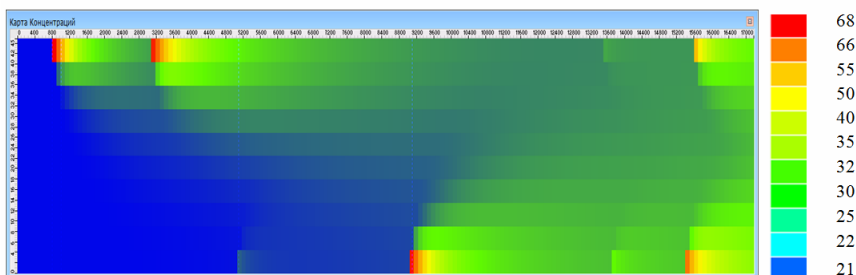


Рис. 5. Карта концентраций БПК<sub>5</sub> в реке Толья

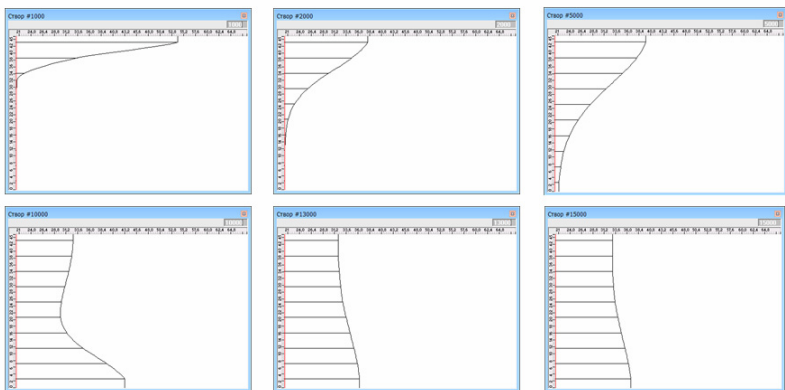


Рис. 6. Карта концентраций БПК<sub>5</sub> в реке Толья

Применённая программа Waste 4.5 Final предназначена для моделирования и прогнозирования качества воды естественных водотоков, загрязненной промышленными выбросами, построения поля концентраций для

нескольких показателей загрязнения, объединенных в группы лимитирующего показателя вредности (ЛПВ) и определения нормативов допустимого сброса (НДС) для группы веществ.

НДС – это масса загрязняющего вещества, которая может быть сброшена источником загрязнения в водный объект и не создает с учетом процессов перемешивания и превращения веществ максимальной концентрации в контрольном створе, превышающей экологический норматив. Результат расчета НДС реки Тольить приведен на рис. 7.

Как следует из рис. 7, масса загрязняющего вещества (по БПК<sub>5</sub>) превышает во много раз НДС.

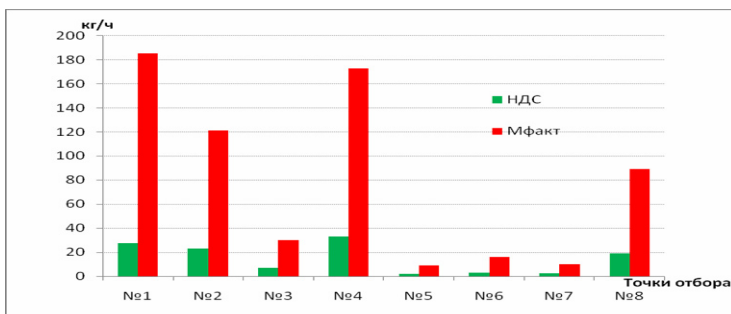


Рис. 7. Сравнение фактических масс БПК<sub>5</sub> сточных вод и НДС реки Тольить

## Выводы

Вода реки Тольить сильно загрязнена. Для комплексного решения вопросов экологической безопасности водных объектов, качества воды, охраны водных ресурсов столицы Ханой требуется создание и ведение государственного мониторинга водной среды и прибрежных зон.

В целях решения задач по восстановлению и оздоровлению р. Тольить и малых рек г. Ханоя необходимо реализовать следующие мероприятия:

- 1) уменьшить поступление загрязняющих веществ в водные объекты за счет строительства очистных сооружений;
- 2) применить оборотные системы в промышленном водоснабжении;
- 3) ввести государственный мониторинг водной среды по всем водным объектам и по широкому перечню показателей;
- 4) установить постоянный контроль за работой очистных сооружений.

## Библиографический список

1. Нгуен Динь Дап, Волшаник В.В., Джумагулова Н.Т. Исследование экологического состояния реки То Лич в Ханое // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 12. С. 20–25.

2. Волшаник В.В., Джумагулова Н.Т., Нгуен Динь Дап, Фам Ван Нгок. Оценка экологического состояния поверхностных вод в городе Ханое (Вьетнам) // Экология урбанизированных территорий. 2017. № 1. С. 36–41.
3. Нгуен Динь Дап, Джумагулова Н.Т., Волшаник В.В. Расчет гидрохимического индекса загрязнения воды в Ханое // Сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С. В. Яковлева. – М.: Издательство МИСИ–МГСУ. 2017. С. 78–84.
4. Результаты экологического мониторинга рек внутреннего г. Ханоя зоны сточных вод с 2009 по 2013 г. // Департамент природных ресурсов и экологии Ханоя. 2013. С. 18–24.
5. Дружин Н.И., Шишкин А.И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши. М.: Гидрометеоздат, 1989. 329 с.

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВЫХ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.В. Степанов, д.т.н., проф., АСА СамГТУ; О.Н. Панфилова, аспирант, АСА СамГТУ, г. Самара

Как правило, в очищенных сточных водах промышленных предприятий и коммунальных очистных сооружений концентрации ионов тяжелых металлов значительно превышают ПДК рыбохозяйственных водоемов и нормативы допустимого сброса. Применение реагентного осаждения ионов металлов из сточных вод не позволяет снизить их до норм ПДК. Поэтому поиск решений по глубокой очистке и подбор современных сорбционных материалов для удаления тяжелых металлов при исходных концентрациях порядка десятых и сотых долей мг/л, является востребованным для многих предприятий. В практике доочистки сточных вод наиболее часто используемыми являются активированные угли [1], натуральные и синтетические цеолиты [2-5], модифицированные глиносодержащие сорбенты [6-7], отходы деревообрабатывающей промышленности [8].

В качестве исследуемых образцов для первого этапа эксперимента были выбраны Холинский цеолит с размером фракции 0,5-0,8 мм, синтетический цеолит NaX Ишимбайского завода катализаторов в гранулированной форме диаметром 1,6 мм, модифицированная глина гранулированная, размер ребра 3 мм и модифицированные древесные опилки, толщиной не более 1-2 мм.

Образец модифицированная глина был получен путем смешения двух видов глин, торфа и доломита, активацию проводили путем отжига в муфельной печи при температуре 800 °С. [7]

Навеску сорбентов массой 1 г добавляли в модельный раствор объемом 200 мл при температуре 20 °С и перемешивали магнитными мешалками.

Концентрацию металла в очищенном растворе определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе Shimadzu AA 7000. Время контакта составляло от 5–180 минут. Количество сорбированного металла (величину адсорбции), мг/г, вычисляли по формуле:

$$a = \frac{C_{исх} - C_{вых}}{m} \cdot V_{p-pa},$$

где  $C_{исх}$  – исходная концентрация металла в растворе, мг/л;  $C_{вых}$  – концентрация металла после взаимодействия с сорбентом, мг/л;  $m$  – масса сорбента, г;  $V_{p-pa}$  – объем раствора, л.

В табл. 1 и на рис. 1 приведены параметры эксперимента и графики кинетики сорбции ионов меди при ее исходной концентрации 1 мг/л из раствора объемом 0,2 л навесками различных сорбентов массой 1 г.



## Кинетика сорбции ионов меди сорбентами в статических условиях

Время взаимодействия сорбента с раствором, мин	Холинский цеолит		Синтетический цеолит NaX		Модифицированные опилки		Модифицированная глина	
	$C_{\text{вых}}$ , мг/л	$a$ , мг/г	$C_{\text{вых}}$ , мг/л	$a$ , мг/г	$C_{\text{вых}}$ , мг/л	$a$ , мг/г	$C_{\text{вых}}$ , мг/л	$a$ , мг/г
20	0,316	0,137	0,280	0,144	0,100	0,180	0,002	0,200
40	0,108	0,179	0,270	0,146	0,062	0,188	0,002	0,200
60	0,059	0,188	0,097	0,181	0,076	0,185	0,002	0,200
90	0,059	0,188	0,065	0,187	0,076	0,185	0,002	0,200
120	0,055	0,189	0,059	0,188	0,076	0,185	0,002	0,200
180	0,055	0,189	0,059	0,188	0,076	0,185	0,002	0,200

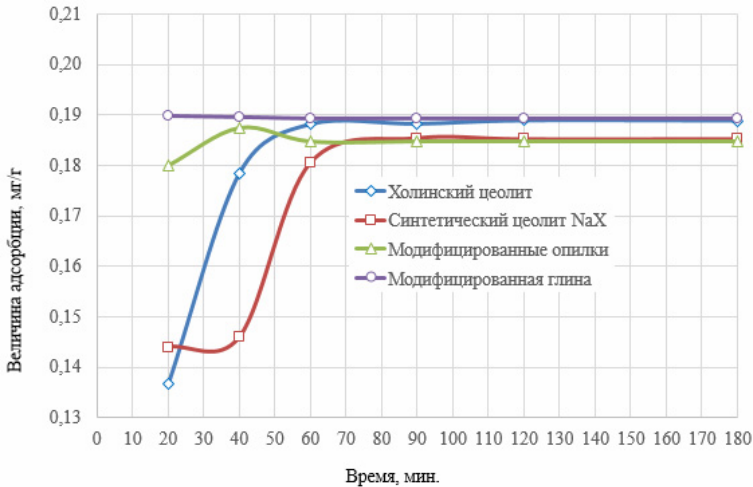


Рис. 1. Кинетика сорбции ионов меди различными сорбентами

Кинетика сорбции на модифицированной глине оказалась достаточно быстрой, и к 20 минуте взаимодействия сорбент-раствор уже установилось равновесие. Остаточная концентрация меди в растворе составила 0,002 мг/л, при этом величина адсорбции  $a$  достигла 0,2 мг/г.

Достижение равновесной концентрации Холинским цеолитом произошло на 60 минуте взаимодействия, остаточная концентрация меди – 0,055 мг/л, величина адсорбции была равна 0,189 мг/г.

Кинетическая кривая сорбции ионов меди на синтетическом цеолите оказалась с двумя плато. Равновесная концентрация была достигнута на 120 минуте. Остаточная концентрация меди в растворе составила 0,059 мг/л, что соответствует  $a = 0,188$  мг/г.

Равновесная концентрация ионов меди на модифицированных орто-фосфорной кислотой опилках была достигнута через 40 минут, после чего произошло незначительное повышение содержания меди в растворе. Остаточная концентрация составила 0,076 мг/л,  $a - 0,185$  мг/г.

Для дальнейших исследований кинетики сорбции металлов из многокомпонентного раствора был выбран новый материал - модифицированная глина, поскольку она имела лучшие кинетические показатели, наименьшую равновесную концентрацию меди и, соответственно наибольшую величину адсорбции среди изученных сорбентов.

Многокомпонентный модельный раствор готовили растворением навесок солей  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , марок «химически чистый» и «чистый для анализа» в дистиллированной воде, исходные концентрации находились в диапазоне 0,66–2,3 мг/л. В каждом опыте в модельный раствор объемом 0,2 л добавляли навеску сорбента массой 1 г и перемешивали магнитной мешалкой в течение заданного промежутка времени. Температура раствора составляла  $20 \pm 1$  °С. Затем отбирали пробу воды, фильтровали ее через бумажный фильтр «синяя лента» и определяли остаточные концентрации металлов. Сравнение велось с активированным углем марки «БАУ-А». Полученные результаты представлены в табл. 2.

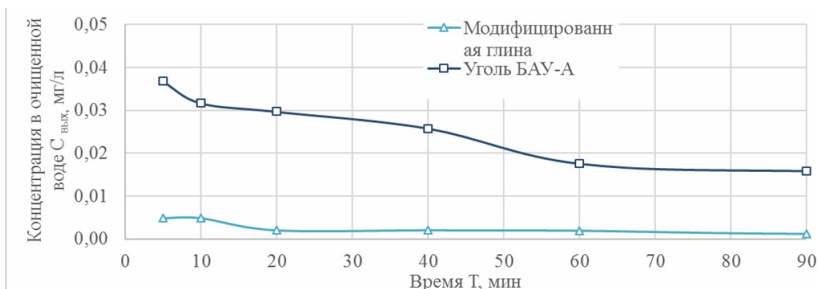
Таблица 2

**Сравнение кинетики сорбции модифицированной глины и активированного угля БАУ-А**

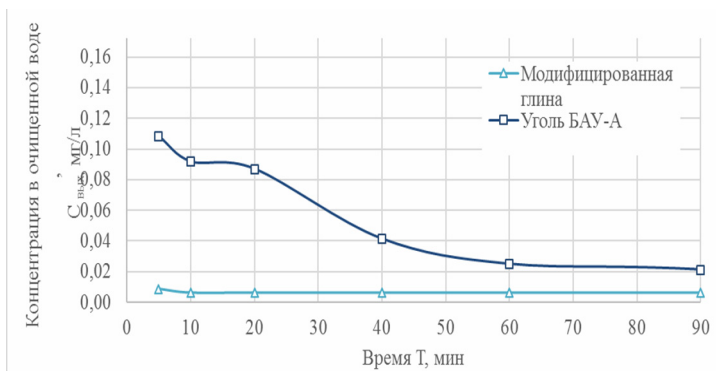
Ион	Исходная концентрация, мг/л	Концентрация в очищенной воде, мг/л		Время достижения равновесия, мин.		Величина адсорбции, мг/г		ПДК рыб. хоз., мг/л
		глина	БАУ-А	глина	БАУ-А	глина	БАУ-А	
Медь	0,66	0,001	0,016	90	90	0,132	0,129	0,001
Железо	1,14	0,009	0,092	5	10	0,226	0,21	0,1
Марганец	0,821	0,005	0,04	60	150	0,163	0,156	0,01
Цинк	1,61	0,008	0,018	20	150	0,32	0,318	0,01
Свинец	0,9	0,001	отс.	5	150	0,18	0,18	0,006
Алюминий	2,3	0,273	0,058	150	150	0,405	0,445	0,04

Анализ данных табл. 2 и кинетических кривых сорбции (рис. 2-5) показывает, что остаточные концентрации и время достижения равновесия для исследованных ионов тяжелых металлов были ниже при применении

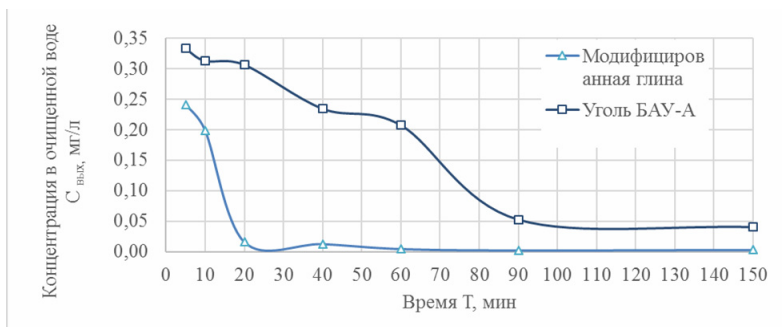
сорбента из модифицированной глины, по сравнению с углем БАУ-А, за исключением алюминия. Концентрации ионов меди, железа, марганца, цинка и свинца в очищенной воде при достаточном времени контакта были ниже ПДК водных объектов рыбохозяйственного значения. В то же время оба образца оказались малоэффективными для удаления алюминия.



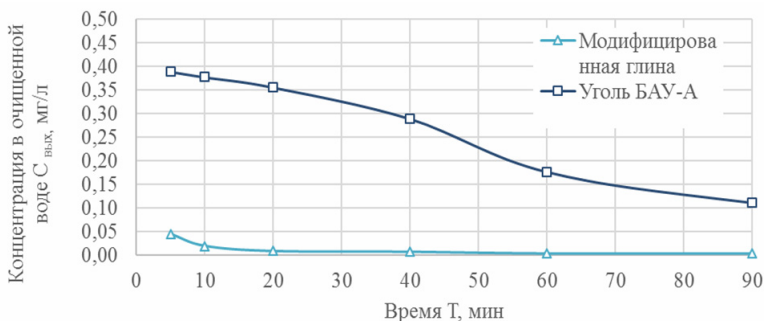
**Рис. 2.** Кинетика сорбции ионов меди сорбентами



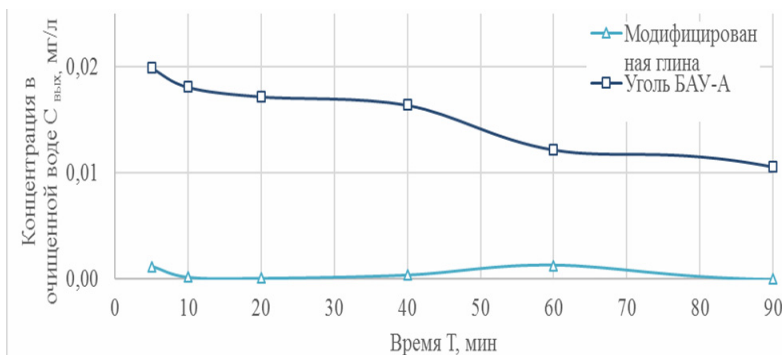
**Рис. 3.** Кинетика сорбции ионов железа сорбентами



**Рис. 4.** Кинетика сорбции ионов марганца сорбентами



**Рис. 5.** Кинетика сорбции ионов цинка сорбентами



**Рис. 6.** Кинетика сорбции ионов свинца сорбентами

## Выводы

1. Результаты сравнения кинетических свойств четырех сорбентов показали, что наименьшее время достижения равновесия при сорбции ионов меди с исходной концентрацией 1 мг/л оказалось у нового сорбента, полученного модификацией глин Самарского региона, – 20 мин; далее следуют модифицированные опилки – 60 мин, Холинский цеолит – 90 мин и синтетический цеолит NaX – 120 мин.

2. Сорбенты, изготовленные на основе глин Самарского региона, могут быть использованы для доочистки биологически очищенных городских и промышленных сточных вод от меди, железа, марганца, цинка и свинца до ПДК рыбохозяйственных водоемов при продолжительности контакта сорбент-раствор 90 минут.

## Библиографический список

1. Швецов В.Н., Морозова К.М. и др. Извлечение ионов тяжелых металлов биологически очищенных городских сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 7. - С. 59-63.

2. Erdem E., Karapinar N., Donat R. The removal of heavy metal cations by natural zeolites // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2004. V 280. P. 309-314. DOI: 10.1016/j.jcis.2004.08.028
3. Обуздина М. В., Руш Е. А. Исследование закономерностей сорбционного извлечения органических загрязнителей из промышленных сточных вод цеолитами // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2011. №1. - С. 117-123.
4. Помазкина О.И., Филатова Е.Г., Пожидаев Ю.Н. Адсорбция ионов меди гейландитом кальция // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. 2015. №4.- С. 370.
5. Sibebe B. C. Pergher, Marcela Caovilla, Chaline Detoni. Remoção de  $\text{Cu}^{+2}$  de soluções aquosas em zeólita na. efeito da granulometria//*Quim. Nova*. 2005. - Vol. 28, No. 3, P. 397-401.
6. Абдугаффарова К.К. Получение новых сорбционных материалов на основе глины для очистки сточных вод от тяжелых металлов // *Сборник докладов международной конференции. Энгельс*. 2016. – С. 367-371.
7. Степанов С.В., Панфилова О.Н. Доочистка сточных вод от ионов тяжелых металлов новым сорбентом на основе модификацией глин // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2018. №1. – С. 46-50.
8. Емелин Я.И. Получение модифицированных сорбентов на основе природных материалов для очистки воды от фенолов / Я.И. Емелин, В.В. Заболотских, В.В. Бекин, В.С. Фирсов, М.В. Дорогов, А.А. Викарчук // «Композит – 2016»: Сборник докладов международной конференции (28-30 июня 2016 г., Энгельс) / отв. ред. Л.Г. Панова. – Энгельс, 2016. – С. 384-387.

## РАСЧЕТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**А.В. Устюжанин**, аспирант, каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ;  
**В.И. Баженов**, д.т.н, проф., исполнительный директор ЗАО «ВИВ», г. Москва

### Основные понятия

Для объективного сравнения различных технических решений по модернизации воздухоудвнного оборудования станций аэрации, в производственной практике всё шире применяется методика оценки стоимости жизненного цикла воздухоудвнных агрегатов [3]. В данной статье рассматривается упрощенный вариант данной методики. Он может быть полезен техническим специалистам для предварительного сравнения с целью минимизации временных затрат на более детальный анализ. Основными величинами, пригодными для сравнения, являются следующие составляющие стоимости жизненного цикла:

$$\text{СЖЦ} = \text{C}_i + \text{C}_e + \text{C}_m$$

где **СЖЦ** – стоимость жизненного цикла, руб., **C<sub>i</sub>** – стоимость капитальных затрат, руб., **C<sub>e</sub>** – совокупная стоимость электроэнергии за период расчета, затраченной воздухоудвнным оборудованием, руб., **C<sub>m</sub>** – совокупная стоимость затрат на ремонтные работы и запасные части за период расчета, руб.

Рассмотрим подробнее каждую из компонент.

### Порядок определения C<sub>i</sub>

Компоненты стоимости капитальных затрат (C<sub>i</sub>, руб.) подробно перечислены в табл. 1. В столбце комментариев указаны наиболее общие рекомендации при оценке технических решений.

### Порядок определения C<sub>e</sub>

Совокупная стоимость электроэнергии на период расчета 25 лет, затраченной воздухоудвнным оборудованием вычисляется прогнозно с учетом роста тарифа на электроэнергию:

$$C_e = N_{cp} \times 24 \times 365 \times T_0 \sum_{i=0}^{n-1} \left( 1 + \frac{\gamma}{100\%} \right)^i$$

где N<sub>cp</sub> – среднегодовая потребляемая мощность, кВт, n = 25 – период расчета, лет. Принимается в соответствии с утвержденным сроком эффективной эксплуатации. Обычно на уровне 25 лет; T<sub>0</sub> – тариф на электроэнергию на момент расчета, руб/кВт·ч; γ – ежегодное удорожание электроэнергии,

%. Согласно анализу РАВВ о состоянии отрасли водоснабжения и водоотведения от 10.12.2015г., среднее ежегодное удорожание электроэнергии для предприятий ВКХ РФ составляет 6,8%;

Таблица 1

**Компоненты капитальных затрат**

№ п/п	Компонент капитальных затрат	Комментарий
1	Проектные работы	Обязательная часть
2	Стоимость ВД оборудования	Обязательная часть. Комплектация оборудования должна быть представлена отдельным документом. Должно быть прямо указано наличие или отсутствие в комплектации оборудования следующих опций: 1. Звукозащитный кожух; 2. Глушители; 3. Противопомпажный клапан; 4. Локальная панель управления (для каждого агрегата); 5. Главная панель управления (ПУ группового управления агрегатами); 6. Встроенный частотный привод; 7. Расходные материалы на 2 года эксплуатации; 8. Комплект специального инструмента для обслуживания;
3	Стоимость ЧРП	При наличии/необходимости, если он не является встроенным и не входит в стоимость ВД оборудования
4	Стоимость ТП (КТПН, ВРУ)	Стоимость вновь устанавливаемых или заменяемых трансформаторов/трансформаторных подстанций и др. оборудования для обеспечения питания необходимого напряжения и мощности с учетом требований к резервированию.
5	Кабели	Стоимость вновь устанавливаемых или заменяемых кабелей для обеспечения питания необходимого напряжения и мощности
6	Строительно-монтажные и пуско-наладочные работы воздухоудвнного оборудования	Стоимость материалов, строительно-монтажных и пуско-наладочных работ по устройству фундаментов, монтажу и наладке воздухоудвнного оборудования. Принимается по сметным данным аналогичных объектов или УСР.
7	Строительно-монтажные и пуско-наладочные работы энергетического оборудования (ТП, кабели)	Стоимость материалов, строительно-монтажных и пуско-наладочных работ по устройству фундаментов, монтажу и наладке воздухоудвнного оборудования. Принимается по сметным данным аналогичных объектов или УСР.

## Определение $N_{ср}$

Среднегодовая потребляемая мощность является целевой величиной расчета потребления электроэнергии воздуходувным оборудованием. Наилучшим способом определения данной величины является метод имитационного математического моделирования, описанный в [1]. При этом, для получения объективного результата требуется формирование достоверных исходных данных, представленных в табл. 2.

Таблица 2

### Перечень данных для расчёта среднегодовой потребляемой мощности

№ п/п	Параметр	Размерность	Кем предоставляется	Примечание
1	Почасовая неравномерность притока сточных вод	м <sup>3</sup> /ч.	Заказчиком (технолог ОСК)	Используются среднегодовые значения притока сточных вод в каждый час суток
2	Удельная потребность в воздухе на 1 м <sup>3</sup> стоков (м <sup>3</sup> воздуха при 20°С)	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	Заказчиком (технолог ОСК)	Должна быть достоверно определена отдельным расчетом или исследованиями.
3	Глубина аэротенка, от дна до поверхности жидкости	м	Заказчиком (технолог ОСК)	Определяет давление в системе воздуховодов, при котором начинается процесс аэрации
4	Уставка давления	кПа	Заказчиком (технолог ОСК)	Давление в системе воздуховодов после включения контура стабилизации давления.
5	Значение мощности на валу группы воздуходувных агрегатов	кВт	Производитель (поставщик) воздуходувного оборудования	Мощность на валу группы агрегатов для каждой из рабочих точек.
6	Значение полной потребляемой мощности группой воздуходувных агрегатов	кВт	Производитель (поставщик) воздуходувного оборудования	Потребляемая мощность группы агрегатов для каждой из рабочих точек.
7	Значение изэнтропного КПД	%	Производитель (поставщик) воздуходувного оборудования	Изэнтропный КПД группы агрегатов для каждой из рабочих точек.

Примечание - следует использовать значение потребности в воздухе в виде «нормальный кубический метр воздуха на один кубический метр воды», т.к. значение нормального расхода воздуха не зависит от температуры и будет одинаковым в разное время года.



## Порядок определения $C_m$

Совокупную стоимость затрат на ремонтные работы и запасные части за период расчета целесообразно определить в виде следующего соотношения:

$$C_m = C_{m1} + C_{m2}$$

где  $C_{m1}$  – совокупная стоимость работ и расходных материалов на период 25 лет. Под расходными материалами понимаются следующие материалы:

1. Воздушные фильтры;
2. Масляные фильтры;
3. Масло;
4. Ремни;

Таблица 3

### Перечень данных для расчёта среднегодовой потребляемой мощности

№ п/п	Группа	Наименование	Ресурс, лет	Количество дополнительных узлов на каждый работающий агрегат на 25 лет эксплуатации [(25/ресурс) – 1]	Количество дополнительных узлов на 25 лет эксплуатации, шт.	Цена узла, руб.	Стоимость дополнительных узлов, руб.	Стоимость работ по замене, руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	C <sub>m1</sub>	Фильтрующие элементы масляных фильтров	3	8	24	0	0	0
2		Фильтрующие элементы грубой очистки воздушного фильтра на входе в ВД	1	24	72	20	1440	1440

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3		Фильтрующие элементы тонкой очистки воздушного фильтра на входе в ВД	0.5	49	147	50	7350	7350
4		Смазочное масло	3	8	24	0	0	0
5		Консистентная смазка подшипников главного электродвигателя	3	8	24	0	0	0
6	См2	Подшипники	10	2	6	100	600	600
7		Ядро ВД	10	2	6	500	3000	3000
8		Частотный преобразователь	12	2	6	500	3000	3000
9		Эл.двигатель привода поворотного лопастного механизма	25	0	0	0	0	0
10		Масляный насос	25	0	0	0	0	0
11		Зубчатая передача	25	0	0	0	0	0
12		Главный приводной электродвигатель	25	0	0	0	0	0
13		Узел нагнетателя	25	0	0	0	0	0
См – совокупная стоимость затрат на ремонтные работы и запасные части, руб.							13200	

Расходные материалы могут быть заменены силами эксплуатирующего персонала не более, чем за 1 рабочую смену (8 часов). Стоимость расходных материалов и работ определяется в соответствии с требованиями производителя оборудования и опыта применения. Если в комплектацию воздухоудовного оборудования включены расходные материалы на первые 2 года работы, их стоимость следует вычитать из См1.

**См2** – стоимость узлов оборудования, ресурс которых составляет менее 25 лет и стоимость работ по их замене. В данную группу входят достаточно дорогостоящие узлы, срок службы которых, тем не менее, не позволяет им работать весь установленный срок службы агрегата.

Расчет стоимости расходных материалов и узлов, ресурс которых не превышает 25 лет эксплуатации, целесообразно проводить согласно табл. 3. Все стоимости в данном примере указаны условно. Показано, что, в зависимости от типа воздухоподводящего агрегата, учитываются различные типы расходных материалов и узлов.

#### Библиографический список

1. Устюжанин А.В. Имитационная модель прогноза технологических параметров работы системы подачи воздуха для станций аэрации / Устюжанин А.В., Баженов В.И. // Сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева –М., 2017.

2. Баженов В.И. Математическая модель биологической очистки сточных вод с учетом гидродинамических и нестационарных условий / Баженов В.И., Устюжанин А.В. // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2014. - № 11. - С. 128-134.

3. Баженов В.И. Обоснование строительства воздухоподводящих станций на базе экономического анализа затрат жизненного цикла / В.И. Баженов, С.Е. Березин, А.В. Устюжанин // Водоснабжение и санитарная техника. - 2015. - № 2. - С. 46-53.

4. Березин С. Е. Регулирование подачи воздуха при очистке сточных вод / Березин С. Е., Овсейчук Б. В., Устюжанин А.В. // Водоснабжение и санитарная техника. 2014. № 12 с. 41-47.

## ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

**В.Н. Фисенко**, к.т.н., Ru Well Systems, Смоленская обл., с. Печерск

При строительстве новых промышленных и коммунальных систем с центробежными насосами и реконструкции уже действующих, возникает проблема выбора из нескольких вариантов (табл. 1) насосов разных производителей, у которых близкие или равные показатели В.Е.Р.<sup>1</sup> В качестве дополнительных критериев выбора наилучшего энергоэффективного насоса необходимо учитывать специфику работы в реальных системах – изменчивость профиля нагрузки во времени [1].

*Таблица 1*

**Параметры сравниваемых насосов в рабочей точке наилучшей энергетической эффективности - ВЕР**

<b>Grundfos SP46-10</b>	<b>KSB-UPA150C-48/10</b>	<b>HMC CRS 8-40/6</b>
$\eta_a = 61,5; \eta = 74,4$	$\eta_a = 63,57; \eta = 78$	$\eta_a = 60,19; \eta = 76,19$
$Q_{ВЕР} = 46\text{м}^3/\text{ч},$ $H_{ВЕР} = 85,52\text{м},$ $N_{ВЕР} = 17,38\text{ кВт}$	$Q_{ВЕР} = 46\text{м}^3/\text{ч},$ $H_{ВЕР} = 95,81\text{м},$ $N_{ВЕР} = 15,32\text{ кВт}$	$Q_{ВЕР} = 42,4\text{м}^3/\text{ч},$ $H_{ВЕР} = 86,89\text{м},$ $N_{ВЕР} = 16,72\text{ кВт}$

Исследования энергопотребления погружных центробежных многоступенчатых насосов [2] проводившиеся автором для переменного профиля нагрузки (10%...130%) ВЕР для различных вариантов гидравлической системы [3] показывают, что перерасход электроэнергии происходит на участке характеристики (рис. 1) недогрузки насоса, т.е. в диапазоне  $Q_{ВЕР} > Q_x > 0,5Q_{ВЕР}$  подачи насоса.

Применение аналогичных подходов к расчетам энергопотребления при инспекциях по ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414) также подтверждает, что перерасход электроэнергии происходит при недогрузке насоса [4] и количественно зависит от технического уровня конкретной модели насоса [5], поэтому необходимо дополнительно оценивать энергосберегающие качества насосов, заложенные производителем на этапе разработки конструкции насоса и привода.

В программах выбора насосов многие производители приводят показатель  $E_s = N_x / Q_x$  удельных затрат потребляемой насосом мощности на 1 м<sup>3</sup> перекачиваемой жидкости, для текущих рабочих точек насоса и системы. Показатель  $E_s$  удобен для расчета энергопотребления в задачах с заранее

---

<sup>1</sup> В.Е.Р.(ВЕР) – рабочая точка наилучшей энергетической эффективности (англ.- Best Efficiency Point (centrifugal pumps)) соответствующая максимальному к.п.д. центробежного насоса.

известным расчетным объемом перекачиваемой насосом жидкости в течение расчетного цикла времени – это типичная задача расчета систем водоснабжения, например, группового скважинного водозабора.

Зная средневзвешенную величину -  $\overline{E_s}$  за цикл, можно определить перерасход электроэнергии  $\Delta E_{LC}$  за расчетный цикл  $T$  в зависимости от профиля нагрузки (табл. 2) и объема перекачанной насосом жидкости, пересчитанной на объем, который бы соответствовал при работе насоса в точке ВЕР, за этот же расчетный цикл  $T$ :

$$\Delta E_{LC} = \overline{E_s}(W_{BEP} - W_x) = \overline{E_s}T(Q_{BEP} - \overline{Q_x}) \quad (1)$$

Таблица 2

**Перерасход электроэнергии (% от номинального) при равномерном профиле нагрузки скважинного центробежного насоса**

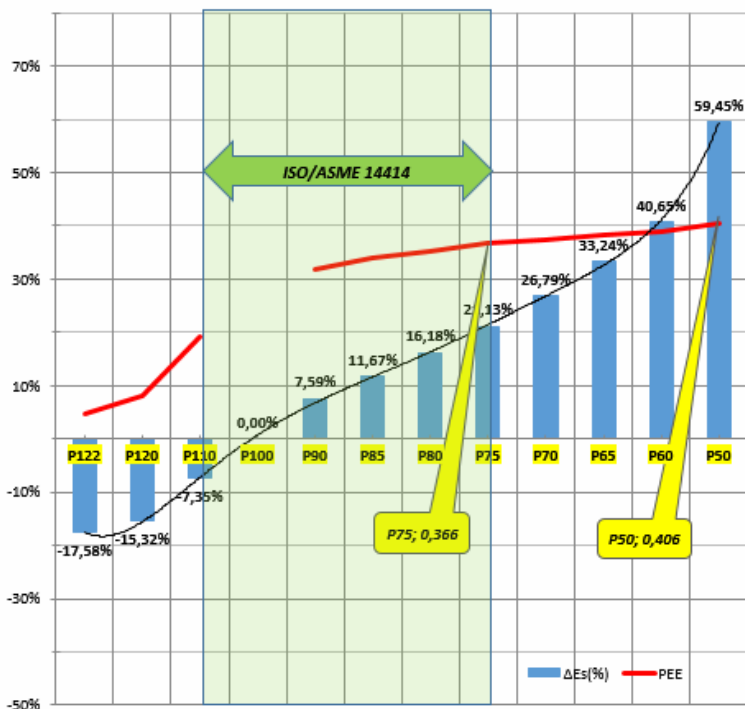
Профиль нагрузки	Grundfos SP46-10	KSB UPA150C-48/10	HMC CRS 8-40/6
130-100-75-50	10,70	10,82	8,95
120-100-75-50	16,03	15,95	12,55
120-100-60	12,81	12,41	9,80
120-100-70	7,13	6,56	5,18
120-100-80	1,19	0,88	0,55
110-100-90	-0,44	-0,56	-0,42
110-100-80	6,34	5,66	4,65
110-100-75	9,32	8,45	6,94
110-100-70	12,23	11,32	9,21
110-100-60	17,97	17,32	13,90
100-75-50	26,41	26,01	20,74
ВЕР	0,00	0,00	0,00

Отношение  $E_{sx}$  в текущей рабочей точке «х» к  $E_{so} = N_{BEP} / Q_{BEP}$  в точке ВЕР определяет относительную величину - индекс  $\Delta E_s$  - удельного перерасхода на  $1\text{ м}^3$  жидкости, потребляемой насосом мощности для текущей рабочей точки насоса и системы, выражаемого в процентах по отношению к номинальному значению  $E_{so}$  для точки ВЕР:

$$\Delta E_s = \left( \frac{E_{sx} - E_{so}}{E_{so}} \right) 100\% = \left( \frac{N_x}{Q_x} \frac{Q_{BEP}}{N_{BEP}} - 1 \right) 100\% \quad (2)$$

Типичное распределение индекса  $\Delta E_s$  на участке характеристики центробежного насоса (130...50)% ВЕР относительно номинального значения

подачи приведено на рис. 1 для многоступенчатого погружного скважинного насоса CRS 8-40/6 с электродвигателем ДАП 8- 15 (15 кВт), 3х400В, 50Гц, а для некоторых других марок насосов в работе [6].



**Рис. 1.** Распределение по профилю (130-100-50) нагрузки скважинного насоса CRS 8-40/6 удельного перерасхода  $\Delta E_s$  потребляемой насосом мощности на 1 м<sup>3</sup> перекачиваемой жидкости

Если определять средневзвешенную величину  $\Delta E_s$  за расчетный цикл времени, например, при параметрических испытаниях насосов (таблица 3) на стендах производителя, либо эксплуатирующей организации [7], то в зависимости от рассматриваемого профиля нагрузки (табл. 3) средневзвешенный индекс  $\Delta E_s$ , называемый еще «индексом экологичной эксплуатации» – *EFI* («*Eco-Friendly Index*» - *англ.*) может принимать вполне определенные значения, различные для насосов разного технического уровня, в части способности сохранения стабильности удельных энергетических параметров на режимах работы насоса, отличающихся от номинального:

$$EFI = \sum(\omega_x \Delta E_s), \quad (3)$$

где  $\omega_x$  – доля времени в расчетном цикле работы насоса, соответствующая текущему режиму работы с определенным значением  $\Delta E_s$ .

При практических расчетах [8] индекса *EFI* производителями насосного оборудования берутся равные доли времени режимов профиля для расчета средневзвешенного значения точечных измерений  $\Delta E_s$ , а потребителями насосного оборудования, в практических расчетах [9] индекса *EFI*, берутся доли времени, по результатам эксплуатационных наблюдений в реальной системе [10], соответствующие длительности фактических наблюдаемых режимов, отличных от номинального.

Таблица 3

**Величина «индекса экологичной эксплуатации» – *EFI* при равномерном профиле нагрузки скважинного центробежного насоса**

Профиль нагрузки	Grundfos SP46-10	KSB UPA150C-48/10	HMC CRS 8-40/6
130-100-75-50	18,22	18,39	14,70
120-100-75-50	22,30	22,35	17,64
120-100-60	17,42	16,94	13,46
<b>120-100-70</b>	<b>10,23</b>	<b>9,48</b>	<b>7,59</b>
120-100-80	3,23	2,77	2,13
<b>110-100-90</b>	<b>0,23</b>	<b>0,05</b>	<b>0,08</b>
110-100-80	7,64	6,85	5,62
<b>110-100-75</b>	<b>11,00</b>	<b>10,00</b>	<b>8,20</b>
110-100-70	14,38	13,36	10,86
110-100-60	21,44	20,78	16,65
ВЕР	0	0	0

Важность синхронного измерения, контроля и учета потребителями насосного оборудования параметров расходуемой насосом мощности  $P_1$  [1,4,10] и расхода  $Q_x$  перекачиваемой жидкости во времени вытекает из необходимости формирования простейших рядов данных для целей последующей статистической обработки и построения гистограммы распределения точечных измерений нагрузки насоса [1] за цикл, которая затем преобразуется в стандартизованный профиль [1, 10] нагрузки формата (130-100-50), применяемый далее для расчетов по формулам (1, 2, 3) и цепочки последующих вычислений.

Если равномерные профили нагрузки (табл. 3) позволяют оценивать энергосберегающие качества сравниваемых потребителем насосов на этапе закупок и тендеров, то по результатам эксплуатационных наблюдений в реальной системе [9, 11], в зависимости от длительности фактических наблюдаемых режимов насосов, отличных от номинального формируются реальные эксплуатационные профили нагрузки [1, 9, 10] с неравными долями отдельных режимов.

В табл. 4 приведены соответствующие расчетные величины «индекса экологичной эксплуатации» – *EFI* для трех вариантов группового водозабора, укомплектованного рассматриваемыми марками насосов с реальными эксплуатационными профилями нагрузки, приведенными в работах [1, 10].

Таблица 4

Величина «индекса экологичной эксплуатации» – *EFI* для суточного профиля нагрузки скважинных центробежных насосов группового водозабора

Групповой водозабор	Grundfos SP46-10	KSB UPA150C-48/10	HMC CRS 8-40/6
1 насос	28,37%	28,14%	22,45%
2 насос	36,21%	35,91%	28,60%
3 насос	41,98%	41,95%	33,24%
Водозабор	34,49%	34,28%	27,28%

Практическая ценность «индекса экологичной эксплуатации» – *EFI* заключается в возможности расчета, действующего к.п.д. систем водоснабжения с центробежными насосами. Общий подход к расчету к.п.д. систем водоснабжения базируется на соотношении полезной работы осуществляемой системой, например, по подъему определенного количества воды на некоторую высоту, к полной фактически затраченной работе.

Так, для простейшей системы водоподъема из скважины группового водозабора с тремя скважинами [1, 10] к.п.д. можно определить для трех вариантов систем, укомплектованных рассмотренными выше насосами:

$$\eta_{сист} = \frac{A_{пол}}{A_{факт}} = \frac{mgh}{T(1+EFI)N_{БЕР}} = \frac{\overline{\rho gh Q_x}}{(1+EFI)N_{БЕР}} \quad (4)$$

где  $\frac{mgh}{T}$  – полезная гидравлическая единичная работа (мощность) по подъему жидкости массой  $m$  на высоту  $h$ , за цикл времени длительностью  $T$ ,  $\overline{N_x}$  – средневзвешенная мощность за цикл, **EFI** – эксплуатационный параметр, характеризующий качество эксплуатации водозаборного сооружения с насосом за цикл времени  $T$ .

*EFI* может служить в качестве индикатора целесообразности реконструкции системы водоподъема с насосом и может определяться при проведении инспекций энергоэффективности по ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414) [7], либо при вариантном сравнении систем водоподъема из скважин [9].

В табл. 6 приведены к.п.д. скважинного водозабора, рассчитанные по зависимости (3) для различных вариантов [11]: с насосами **Wilo**; системы водоподъема (PSR, PSWR-system); различного материала труб (сталь, термoplast); новых и при длительной эксплуатации.



**К.п.д. систем водоподъема скважинными центробежными насосами  
и группового скважинного водозабора в целом**

<b>Профиль нагрузки</b>	<b>Grundfos SP46-10</b>	<b>KSB UPA150C-48/10</b>	<b>HMC CRS 8-40/6</b>
1 насос	47,91	44,38	48,13
2 насос	45,15	41,84	45,82
3 насос	43,32	40,06	44,23
Водозабор	45,93	42,54	46,47

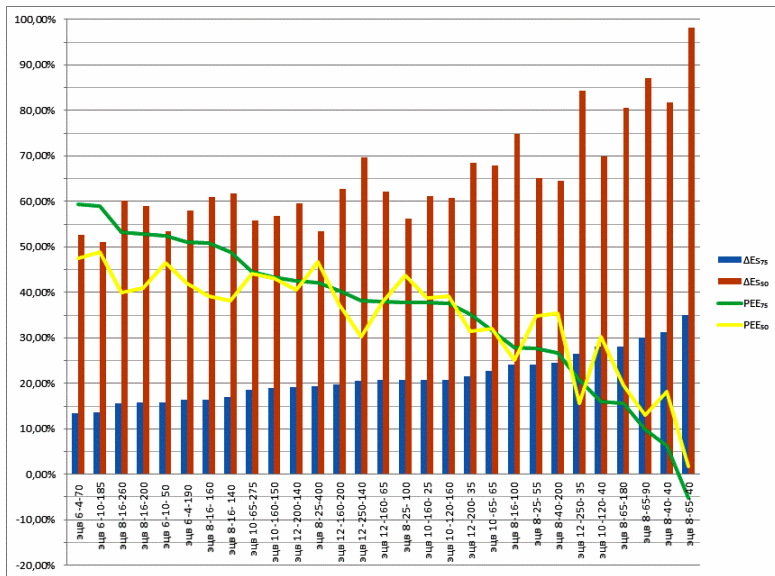
Таблица 6

**К.п.д. вариантов систем водоподъема из скважины  
погружными центробежными насосами**

<b>Схема водо- подъема</b>	<b>Марка погружного насоса</b>	<b>Riser, мм</b>	<b>Материал труб</b>	<b>К.п.д. водо- забора, %</b>
1	TWI 8.90-06-C-SD	80	Steel, new	59,01
2	TWI 8.90-06-C-SD	90	Steel, new	64,61
3	TWI 8.90-06-C-SD	100	Steel, new	65,86
4	TWI 8.90-06-C-SD	125	Steel, new	68,52
5	TWI 8.90-05-C-SD	125	Steel, new	70,60
1.1	TWI 8.90-06-C-SD	80	Steel, old	49,79
2.1	TWI 8.90-06-C-SD	90	Steel, old	59,36
3.1	TWI 8.90-06-C-SD	100	Steel, old	53,00
4.1	TWI 8.90-06-C-SD	125	Steel, old	67,74
5.1	TWI 8.90-05-C-SD	125	Steel, old	69,29
1.2	TWI 8.90-06-C-SD	80	PE, new	61,41
2.2	TWI 8.90-06-C-SD	90	PE, new	65,75
3.2	TWI 8.90-06-C-SD	100	PE, new	66,59
4.2	TWI 8.90-06-C-SD	125	PE, new	68,66
5.2	TWI 8.90-05-C-SD	125	PE, new	70,91
1.3	TWI 8.90-06-C-SD	80	PE, old	59,80
2.3	TWI 8.90-06-C-SD	90	PE, old	65,00
3.3	TWI 8.90-06-C-SD	100	PE, old	66,12
4.3	TWI 8.90-06-C-SD	125	PE, old	68,56
5.3	TWI 8.90-05-C-SD	125	PE, old	70,70
6	TWI 8.90-05-C-SD	200	Steel, new	72,56
7	TWI 8.90-06-C-SD	200	Steel, new	69,34
7.1	TWI 8.90-06-C-SD	200	Steel, old	69,30
7.2	TWI 8.90-06-C-SD	200	PE, new	69,35
7.3	TWI 8.90-06-C-SD	200	PE, old	69,35

Таким образом, дополнительные критерии для насосов в системах водоснабжения: индекс  $\Delta E_3$  (рис. 2) – нормированные удельные энергозатраты на  $1\text{ м}^3$  подачи на заданном профиле изменении нагрузки из диапазона

(130...50%) В.Е.Р. насоса и «индекс экологичной эксплуатации» – EFI «Eco-Friendly Index», который выражает средневзвешенный перерасход потребляемой насосом мощности на 1 м<sup>3</sup> перекачиваемой жидкости на заданном профиле нагрузки за жизненный или расчетный цикл – раздельно или вместе они позволяют дополнительно ранжировать насосы по энергосбережению.



**Рис. 2.** Ранжирование насосов ЭЦВ по динамике удельной энергоэффективности  $\Delta E_s$  – для характерных режимов профиля нагрузки (100-75-50)% ВЕР и индексу «потенциал энергетической эффективности» PEE [6]

Приведенные данные (рис. 2.) свидетельствуют о необходимости формирования национальной системы рейтингов и требований энергоэффективности к насосам: производимых в рамках программ адресной поддержки производства насосов государством; планируемых к применению; и уже используемых в работе систем водоснабжения промышленных и коммунальных систем.

### Библиографический список

1. Фисенко В.Н., Показатели высокой энергетической эффективности центробежных насосов, работающих с переменным профилем нагрузки //Международная научно-техническая конференция «ECOPUMP-RUS'2017 «Энергоэффективность и инновации в насосостроении. Импортзамещение и локализация производства в России» - 26 октября 2017г., Москва, Изд. МВЦ "Крокус-Экспо"-2017, стр. 84-99.

2. Фисенко В.Н., Гидравлическая оптимизация и оборудование водоподъема из скважин с беструбной установкой погружных электронасосов: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.23.04 / Всесоюз. комплекс. научно-исслед. и конструктор. -технологич. ин-т. - Москва, ВНИИ ВОДГЕО, 1991 - 25 с.
3. Трусов М.М., Фисенко В.Н., Райт В.Я. и др., Разработка устройства беструбного водоподъема из скважины по обсадной колонне термопластовых труб внутреннего диаметром 200мм и глубиной до 150м, Отчет о НИР инв.№ 02860047417, Сборник рефератов НИР и ОКР, сер.26, 1986г.
4. Фисенко В.Н., Расчет индексов энергоэффективности при проектировании и эксплуатации групповых скважинных водозаборов //Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017. №10. с.38-50.
5. Фисенко В.Н., Оценка технического уровня погружного насоса при проведении инспекции энергоэффективности скважинного водозабора по ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414) // Вода Magazine. 2017. № 5. С. 24–28.
6. Фисенко В.Н., Потенциал энергетической эффективности насосов с равными параметрами В.Е.Р. // Вода Magazine. 2018. № 2. С. 10–17.
7. Трусов М.М., Фисенко В.Н., Райт В.Я., Лотц Р.Э., Стенд для испытания установок погружных насосов //А.с. СССР №1368489 (SU), МПК F04B51/00, Бюллетень изобретений №3,1988.
8. Fisenko V.N., Potential of energy efficiency of pumps with equal BEP // DOI:10.13140/RG.2.2.15151.43682. [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www.researchgate.net/publication/322927863\\_Potential\\_of\\_energy\\_efficiency\\_of\\_pumps\\_with\\_equal\\_BEP](http://www.researchgate.net/publication/322927863_Potential_of_energy_efficiency_of_pumps_with_equal_BEP)
9. Фисенко В.Н., Инспекция энергоэффективности водозаборных скважин с погружными центробежными насосами/ Типовой регламент по ГОСТ 33969-2016 (ISO/ASME 14414:2015) - 5с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://well-systems.ru/Well\\_systems/Pump\\_Inspection.pdf](http://well-systems.ru/Well_systems/Pump_Inspection.pdf).
10. Фисенко В.Н., Индексы энергетической эффективности группы погружных центробежных насосов, работающих с переменным профилем нагрузки в водозаборных скважинах// Вода Magazine. 2017. № 9. С. 24–30.
11. Фисенко В.Н., Энергосбережение при эксплуатации скважинных водозаборов подземных вод// Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 11. С. 22–33.

## СЕГОДНЯШНЯЯ ТЕНДЕНЦИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ВНУТРЕННЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

**Л.И. Хохлова**, к.т.н., доц., каф. строительства, Государственный университет по землеустройству (ГУЗ); **И.А. Синянский**, к.т.н., доц., каф. строительства, Государственный университет по землеустройству (ГУЗ); **Е.В. Орлов**, к.т.н., доц., каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ; **Д.А. Емельянова**, студентка, институт ИИЭСМ, НИУ МГСУ, г. Москва

Сегодня комфортность проживания в здании определяется системами водоснабжения и водоотведения, которые обеспечивают население качественной питьевой водой и поддерживают санитарную безопасность на высоком уровне. Из года в год требования к комфортности все более возрастают. Это приводит к тому, что в новых зданиях начинают применяться различные технические решения и новое оборудование, которые были недоступны ранее [1-2].

В новых жилых зданиях меняется подход к проектированию санитарно-технических помещений, в которых присутствуют системы водоснабжения и водоотведения. Под санитарно-техническими помещениями подразумеваются в квартире помещения кухонь и санитарно-технических узлов (кабин).

Сегодня присутствует тенденция в пользу увеличения площадей кухонь и санитарно-технических кабин. Это обуславливается установкой в них нового оборудования, которое ранее не использовалось широко в жилищном строительстве.

Новые объемно-планировочные решения начинают диктовать новый подход к комфортности пользования системами водоснабжения и водоотведения.

В квартирах, количество комнат в которых начинает превышать две и более, сейчас рекомендуется проектировать две санитарно-технические кабины. Это позволяет значительно ускорить процесс проведения санитарно-гигиенических процедур, избежав очередей по утрам. Как правило, проектируется одна раздельная и полноценная санитарно-техническая кабина, в которой устанавливаются минимально необходимые приборы – унитаз, умывальник и ванна. Второй санузел имеет, как правило, меньшее количество приборов. Возможны различные варианты компоновки, например, только унитаза, или унитаза и ванна.

Кухни сейчас рекомендуется проектировать площадью не менее 9 м<sup>2</sup> – для однокомнатных квартир. Это позволяет не только без особых проблем размещать мебель, но также комфортно принимать пищу, чего не было ранее в домах, которых проектировались 20-25 лет назад. Сегодня в обязательном порядке при строительстве нового жилья в гидравлический расчет вводят посудомоечные машины, подводки для которых размещают на кухнях. Данный водоразборный прибор подключается к системам внутреннего холодного водопровода и канализации. Он способен за один цикл мойки

вымывать 10 комплектов грязной посуды, истратив всего 12 литров воды. Это позволяет, во-первых, экономить значительное количество воды. Во-вторых, сэкономить большое количество свободного времени, т.к. весь процесс полностью автоматизирован. Кроме того, использование стиральных машин рекомендуется всеми водоканалами наших городов как наиболее эффективный метод экономии чистой питьевой воды.

Сегодня начинают проектироваться новый тип квартир – так называемые евро-двушки. Они представляют собой однокомнатную квартиру, в которой площадь кухни может достигать 12-15 м<sup>2</sup>, а иногда и больше, по сути ее можно использовать для постоянного или временного проживания. В некоторых объемно-планировочных решениях современных квартир такие кухни даже имеют большую площадь, чем жилая комната. Это позволяет без особого труда устанавливать и различным образом компоновать все возможные водоразборные приборы и приемники сточных вод.

Автоматические стиральные машины предназначены для стирки белья. Подводки для них монтируют непосредственно в санитарно-техническом узле. Данный водоразборный прибор подключается к системам внутреннего холодного водопровода и канализации. Стиральная машина позволяет постирать 5-6 кг грязного белья, потратив всего лишь 35-45 литров воды. Кроме того, значительно экономится время для жителя квартиры [3-4].

В раздельных санитарно-технических кабинках для удобства использования рядом с унитазом проектируется маленький рукомойник. Он позволяет помыть руки после процедуры. Таким образом, отпадает необходимость в ожидании очереди к умывальнику, в случае если ванной в данный момент пользуется кто-то другой. Рукомойник монтируется на стенку, на нем устанавливается смеситель с подводкой холодной и горячей водой.

Для экономии воды в последнее время рекомендуется устанавливать на умывальник бесконтактные смесители. Прибор автоматически включается при поднесении к нему рук за счет фото датчика, встроенного в корпус. Настройка температуры задается до включения через блок управления или с помощью специального рычажка, расположенного на приборе [5]. Водоразборный прибор позволяет значительно экономить воду по сравнению с устаревшими двухвентильными смесителями, а также однорычажными. Получается, что тратится именно столько воды, сколько необходимо потребителю. Единственный недостаток данного водоразборного прибора – это цена, которая на сегодня еще не такая дешевая, как хотелось бы.

Также для экономии воды используются специальные водосберегающие насадки. Они монтируются вместо стандартного аэратора на обыкновенный однорычажный смеситель. Прибор работает по следующей схеме. Вначале потребитель рычагом смесителя регулирует на глаз температуру, а затем поднимает рычаг для того, чтобы вода дошла до водосберегающей насадки. Далее необходимо включить водосберегающую насадку. Для этого потребитель кончиком пальца нажимает на специальный механизм насадки – шток. Вода начинает поступать из смесителя. После процедур необходимо вновь нажать на шток и вода перестает поступать через насадку.

Таким образом, данный простой прибор значительно экономит воду, его цена сегодня является небольшой, его можно рекомендовать как дешевый аналог бесконтактного смесителя.

Большие площади санитарно-технических кабин также позволяют устанавливать и другое нестандартное оборудование систем водоснабжения и водоотведения.

Промышленностью совсем недавно был создан и широко продается специальный туалет для кошек и пород собак небольших размеров, которые приучены к лотку (чихуахуа, тойтерьер и т.д.). Это автоматический туалет, имеющий бесконтактную систему смыва (сенсорную). Данный прибор работает следующим образом. Он подключается к системе внутреннего холодного водопровода, а также к системе внутренней канализации. После того, как животное воспользовалось туалетом, оно уходит с унитаза и ровно через 15 секунд сенсор дает команду на смыв. Загрязнения проходят гидрозатвор и по отводным трубам попадают в систему внутренней канализации. Таким образом, неприятные запахи больше не будут сильно беспокоить хозяина, в отличие от обычных лотков. Уровень гигиены будет поддерживаться на необходимом уровне. Исследования, проведенные изобретателями таких туалетов, подтверждают, что практически все кошки и собаки, приученные к лотку, пользуются данным прибором без каких-либо осечек. Никакого дискомфорта и страха домашние питомцы не ощущают, а привыкание происходит практически сразу же.

Сегодня имеется тенденция в проектировании на первых этажах зданий в некоторых жилых домах помывочных помещений для животных. Это позволяет после прогулки вымыть лапы животных, чтобы не нести грязь в подъезд и квартиру, что уменьшает затраты на уборку помещений.

В заключении хочется сказать, что использование новых водоразборных приборов и приемников сточных вод в помещениях позволяет повысить комфортность проживания на территории объекта во много раз.

#### Библиографический список

1. Исаев В.Н., Нечитаева В.А. Энергоресурсосбережение в системах водоснабжения // Водоснабжение и канализация. 2010. № 4. С. 88-91.
2. Журов В.Н., Пугачев Е.А., Федоровская Т.Г., Комаров А.С., Викулина В.Б., Михайлин А.В., Нечитаева В.А. Водоснабжение и водоотведение жилого дома. М. Издательство АСВ, 2004. 32 с.
3. Чистякова А.В., Чухин В.А., Андрианов А.П. Автоматизация инженерных систем зданий. Системы водоснабжения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2016. № 1 (97). С. 48-54.
4. Кедров В.С., Исаев В.Н., Орлов В.А., Пальгунов П.П., Сомов М.А., Чухин В.А.. Водоснабжение и водоотведение: Учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 2002. – 335 с.
5. Орлов В.А. Трубопроводные сети. М. Издательство Лань. 2015. 160 с.

## **РОЛЬ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ВОДОЗАБОРОВ, ВЛИЮЩИХ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СКВАЖИН**

**А.А. Цымбалов**, к.т.н., Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. (СГТУ), г. Саратов

На сегодняшний момент строительство индивидуальных скважин физическими лицами, контроль и порядок эксплуатационных действий подземного источника на их частной территории в законодательной форме не урегулирован. Такая ситуация сформировала ряд сложностей, отражающихся негативно на загрязнении подземных вод и экологии локальной местности в районе концентрации индивидуальных частного домостроения, дачных поселков, застроек садоводческих объединений.

Сложившихся причин в развитии описанной ситуации несколько:

1. Возможность производить буровые работы без проектов способствовала тому, что для личного пользования водным источником часто вскрывают горизонты централизованного водопользования или промышленной эксплуатации для питьевых целей без каких-либо согласований и разрешений.

2. Физическое лицо вправе ради экономии средств и минимизации затрат при возведении водозаборной скважины обращаться не в специализированные организации, а к индивидуальным бурильщикам, часто не имеющим специального образования, которые вскрывают водоносный горизонт и оборудуют конструкцию скважины (фильтрационную колонну) без должных отраслевых требований и нормативов [3, 5].

Скважины, сформированные такими условиями (условно назовем их скважинами «кратковременного» пользования), имеют изначально конструктивные, технологические и гидрогеологические отклонения. Поэтому процесс их эксплуатации состоит в непродолжительном сроке службы скважин по причинам: пескования, кольматации, поломок насосного оборудования и автоматических блоков управления насосами.

Практика ведения ООО НО «Архимед» услуг по буровым работам и ремонтно-восстановительным работам (РВР) закольматированных скважин позволяет утверждать, что потребительский спрос со стороны физических лиц на строительство новых скважин не снизился за последние 10 лет [6]. Отметим, что потребительский спрос на скважины длительного пользования (10-15 лет) стал увеличиваться. Данные требования со стороны перспективного недропользователя в ООО НО «Архимед» решается с помощью подготовки заказчику гидрогеологического заключения о возможности организации водоснабжения из подземных вод. На интернет ресурсе компании «Архимед» нашими специалистами указаны несколько причин, по которым бурение скважин «кратковременного» пользования экономически не выгодно заказчику, который рассматривал ее строительство в бюджетном варианте.

Технический аудит ООО НО «Архимед» (2009-2011 гг.) одиночных водозаборных скважин для питьевого и технического применения на территории Саратовской области выявил ряд недостатков таких источников:

1. Отсутствие технических павильонов (колодцев) подземного источника.
2. Техническое несовершенство обустройства устья скважины (обрушение кровли земли вокруг затрубного пространства обсадных труб в пределах воздействия депрессионной воронки с перетоком поверхностных загрязнений в зону аэрации (рис. 1).
3. Не правильный подбор водозаборного устройства, превышающий производительность продуктивного пласта.
4. Сезонная эксплуатация скважины.
5. Отсутствие профилактических работ по декольматации скважины.
6. Не проведение регулярного осмотра водозаборного устройства скважины.

Эти и другие отклонения сокращают жизненный цикл скважины, отражаясь на долговечности источника. По данным ООО НО «Архимед» до 60% скважин выходят из строя в период 3-5 лет [8]. Не имея технического навыка обслуживания, владелец индивидуальной скважины при уменьшении ее дебита рядом бурит новую скважину, оставляя первую скважину на бессрочный срок без утилизации.



*а*



*б*

**Рис.1.** Состояние заколонной части устья водозаборной скважины ( $\text{Ø}135$  мм,  $H = 42$  м) в районе д. Расловка Саратовского района Саратовской области по результатам обследования ООО НО «Архимед» (октябрь 2017 г.):

*а* – обрушение кровли глубиной 5 м; *б* – приведение скважины в техническое соответствие

При уменьшении дебита скважины перед индивидуальным пользователем каждый раз встает вопрос, что лучше восстановить старую скважину или пробурить новую? Отсутствие информации по инновационным методам РВР закольматированных скважин (МРС-СИЦА [4, 6, 7]) заставляет недропользователя все же строить новую скважину.



ООО НО «Архимед» практическими действиями по РВР скважин и экономическими расчетами на основе внедрения инноваций доказана успешность ведения профилактических работ в сравнении с финансовыми затратами на возведение новых водозаборных источников [7]. По данным исследований компании «Архимед» [2, 5] экономия по РФ от возвращенных водозаборных скважин из бесхозного фонда в эксплуатационный оборот может составить (в ценах 2017 г.) около 1,95 млрд. руб. в год [7].

## Выводы

1. Гидрогеологическое заключение для организации индивидуального водозабора из подземных вод дает недропользователю гидрогеологическую оценку ресурсов подземных вод.

2. Подбор конструктивных, технологических, эксплуатационных параметров скважины сделанный на основе гидрогеологических данных гидрогеологического заключения позволяет построить скважину с нормативным жизненным циклом.

3. Проведение комплекса профилактических мероприятий по кольматации околоскважинной зоны методами МРС-СИЦА обеспечат долговечность скважине.

*Работа выполнена в рамках Программы НИР НО «Архимед» Арh. № ТЭР-Р 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водопропускных устройств: п.п. «а» - «е»; разд.1,разд.2.» [1].*

## Библиографический список

1. Приоритетные НИР: Темы инновационных направлений научно-исследовательских работ НО «Архимед» [Электронный ресурс] / А.А. Цымбалов. М.2014-2018. Режим доступа URL: <http://doktorsc.ru/index.php/prioritetnye-nir> (дата обращения: 12.02.2018).

2. Сердюк Н.И. Совершенствование технологии кавитационного декольматажа фильтровой области гидрогеологических скважин: дис. ... док-ра техн. наук : 25.00.14.МГТА. 294 с.

3. СП 11-108-98. Изыскания источников водоснабжения на базе подземных вод / Свод правил по изысканиям источников водоснабжения на базе подземных вод. М., 1998 [сайт]: Нормативно-техническая документация. Норма. Стандарты. URL: <http://www.soyuzproekt.ru/ntd/4578.htm> (дата обращения: 02.02.2018).

4. Цымбалов А.А. Выбор сочетаний наилучших доступных технологий в регенерации закольматированных скважин // Приложение математики в экономических и технических исследованиях: сб. науч. тр. Магнитогорск. гос. техн. ун-та. Т1. №7. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2017. С.191-199.

5. Цымбалов А.А. Критерии эффективности методов декольматации скважин для методических рекомендаций по наилучшим доступным технологиям // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр. РАН, ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова (Мещерский филиал). Вып. 7. Рязань: Изд-во ФГБНУ ВНИИГиМ, 2016. С.132-138.

6. Цымбалов А.А. Метод наилучших доступных технологий в регенерации закольматированных водозаборных скважин // Сергеевские чтения. Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых.: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (4-5 апреля 2017 г., г.Москва). Вып. 19. М.: РУДН, 2017. С. 434-439.

7. Цымбалов А.А. Межремонтный период регенерации водозаборных скважин // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 10. С.20-25.

8. Цымбалов А.А. Срок эксплуатации и межремонтный период методов регенерации скважинных водозаборов (на примере Саратовской области) // Яковлевские чтения: сб. докл. 11-ой науч.-прак. конф., посвящ. акад. РАН С.В. Яковлеву (16 марта 2016 г., г. Москва). М.: НИУ МГСУ (ИИ-ЭСМ), 2016. С. 146-150.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К РАЗРАБОТКЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАКЛЮЧЕНИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ИЗ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

**А.А. Цымбалов**, к.т.н., Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. (СГТУ), г. Саратов

Гидрогеологическое заключение (ГГЗ) является основным техническим документом, в котором дана информация гидрогеологического состояния исследуемого участка недр, содержатся описание гидродинамических и геохимических характеристик водоносных горизонтов и пород, границы зон санитарной охраны водозабора с рекомендациями о возможности (или ее отсутствии) организации водоснабжения за счет подземных вод.

ГГЗ представляет собой отчетный документ по геологическим и гидрогеологическим исследованиям выбранного участка в виде регламентных указаний и рекомендаций. По ГГЗ [4, 5] осуществляются буровые, технические и технологические работы по добыче подземных вод с их целевым назначением, контролю за эксплуатацией скважин, охране недр, окружающей среды и обеспечению безопасного ведения работ в границах зон санитарной охраны.

Основными условиями для разработки ГГЗ являются:

1. Предпроектные (проектные) работы по организации водоснабжения из подземных вод.
2. Разработка проекта зон санитарной охраны одиночных скважин.
3. Комплекс технических работ, связанных с анализом текущего состояния эксплуатации водоносного горизонта с оценкой запасов подземных вод.
4. Изменения экологической и водохозяйственной локальной территории в связи с ЧС, авариями техногенного характера.
5. Инвестиции в месторождения (действующие или перспективные) с разработкой технико-экономического обоснования проекта или составления бизнес-плана.
6. Технические и технологические работы по ликвидации скважин, отслуживших срок эксплуатации.
7. Оценка перспективности организации водообеспеченности подземных вод на земельном участке, планируемом к покупке (продаже) для личных целей и предпринимательской деятельности.
8. Разработка концепции технической политики по развитию водоснабжения и водоотведения административных образований (поселений) региона РФ [3].

Целью гидрогеологического заключения является *предоставление* по участку (территории) заказчика на условиях оговоренных в техническом задании (ТЗ) *необходимой и достаточной информации* для обоснования проектирования и строительства водозаборов из подземных вод или иных условиях возможность организации водопользования с наложением огра-

ничений, в том числе мероприятий инженерной и санитарной защиты, охраны окружающей среды, включая защиту подземных вод от загрязнения и истощения.

В зависимости от назначения ГГЗ, определяемых условиями характера работ, оговоренных заказчиком в ТЗ, цель гидрогеологического заключения может корректироваться.

ГГЗ, в конечном счете, надо рассматривать как комплекс выполненных работ (исследований), результатами которых становятся рекомендации, направленные на снижение гидрогеологических рисков исследуемых недр и финансовых рисков строительства (реконструкции, восстановления) водозабора.

Задачи, решаемые при разработке гидрогеологического заключения для организации водоснабжения из подземных вод:

1. Определить водоносные горизонты (комплексы) с требуемым количеством воды для обеспечения водоснабжения согласно ТЗ заказчика.

2. Выбрать на исследуемом участке точку заложения скважины оптимальную и перспективную (на период эксплуатации источника) для водообеспечения.

3. Получить фондовые гидрогеологические материалы и данные о наличии подземных источников на исследуемом участке. Обработать полученные результаты для обоснования:

- а) типа источника;
- б) технологической схемы ведения буровых работ;
- в) конструкции скважины;
- г) расчета водозаборного устройства;
- д) режима эксплуатации проектируемого водозабора из подземных вод;
- е) расчет зон санитарной охраны.

Практические действия ООО НО «Архимед» в подготовке ГГЗ по объектам Поволжья, регионов РФ и Казахстана сумели обосновать риски по организации водоснабжения из подземных вод для юридических и физических лиц, а также обосновать экономическую эффективность ведения буровых работ на оптимальную глубину [1].

## **Выводы**

1. Гидрогеологическое заключение является основным техническим документом, дающим информацию о возможности (или ее отсутствии) организации водоснабжения за счет подземных вод.

2. Перспективность ГГЗ состоит в возможности юридических и физических лиц до осуществления каких-то конкретных действий (финансовых, строительных, инвестиционных и др.) на локальном земельном участке знать его потенциальные возможности по водообеспечению.

*Работа выполнена в рамках Программы НИР НО «Архимед» Арh. № ТЭР-Р 642012-0001.000 «Исследование процессов кольматации околоскважинной среды и разработка методов декольматации водопропускных устройств: п.п. «а» - «е»; разд.1,разд.2.» [2].*

## Библиографический список

1. Гидрогеологическое заключение объекта о возможности водоснабжения за счет артезианских вод [Электронный ресурс] / сайт ООО «Архимед». Режим доступа URL: <http://arhimed1.tiu.ru/p2594297-gidrogeologicheskoe-zaklyuchenie-obekta.html> (дата обращения: 14.02.2018).
2. Приоритетные НИР: Темы инновационных направлений научно-исследовательских работ НО «Архимед» [Электронный ресурс] / А.А. Цымбалов. М.2014-2018. Режим доступа URL: <http://doktorsc.ru/index.php/prioritetnye-nir> (дата обращения: 12.02.2018).
3. Техническая политика и технический уровень эксплуатационной готовности скважинных водозаборов на примере района перспективного развития Волгоградской области [Электронный ресурс] / сайт компании Доктор скважин регион (г. Волгоград). Режим доступа URL: <http://volgograd.vashdom.ru/browse4109775-tehnicheskaya-politika-i-tehnicheskii-uroven.htm> (дата обращения: 10.02.2018).
4. СП 11-108-98 Свод правил по инженерным изысканиям. Изыскания источников водоснабжения на базе подземных вод [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: <http://www.docload.ru/Basesdoc/5/5695/index.htm> (дата обращения 09.02.2018).
5. Цымбалов А.А. Особенности подготовки гидрогеологических заключений по организации водоснабжения из подземных вод: назначение, перспективы, условия выбора и принятия решений [Электронный ресурс] / А.А. Цымбалов. М.2014-2018. Режим доступа URL: <http://doktorsc.ru/index.php/nauchnye-stati/99-osobennosti-podgotovki-gidrogeologicheskikh-zaklyuchenij-po-organizatsii-vodosnabzheniya-iz-podzemnykh-vod-naznachenie-perspektivy-usloviya-vybora-i-prinyatiya-reshenij> (дата обращения: 02.02.2018).

# ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ БИОПЛЕНКИ В ПРОЦЕССЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД ВО ВЬЕТНАМЕ

Чан Ха Куан, аспирант, НИУ МГСУ; Е.С. Гогина, к.т.н., доц., каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ, г. Москва

## Введение

Биологические очистные сооружения осуществляют процесс очистки с помощью микрофлоры, которая может находиться во взвешенном или прикрепленном состоянии. Прикрепленная микрофлора на грузочном материале образует биологическую пленку, которая представляет собой множество микроорганизмов, расположенных на поверхности и развивающихся во влажных средах [1]. В биопленке, микроорганизмы производят внеклеточные полимерные вещества. Бактерии, грибы, водоросли, дрожжи и простейшие удерживают клеточные агрегаты и образуют матричную структуру биопленки. Биопленки имеют способность расти на натуральных материалах, на металлах, пластмассе и др. В зависимости от условий окружающей среды биопленка нарастает прикрепляется к поверхности материалов. Толщина хорошо развитой биопленки с питательными веществами и микроорганизмами может достигать одного сантиметра [2].

Комбинация взвешенной и прикрепленной микрофлоры - биопленки с активным илом - в сооружении биологической очистки сточных вод (рис. 1) имеет несколько преимуществ, включающих оперативное реагирование на изменение качества поступающей сточной воды, уменьшение объемов аэротенка, увеличение концентрации активной биомассы, уменьшение времени обработки сточной воды в сооружении биологической очистки. Загрузочные материалы из полимера, пластика применяются в аэротенке для образования дополнительного слоя биопленки в процессе очистки сточных вод [3].



Рис. 1. Схема биологической очистки с комбинированием применения биопленки и активного ила

При использовании грузочного материала в реакторе, каждый элемент грузочного материала может содержать большое количество микроорганизмов, при этом наиболее активно работающие бактерии могут быть

представлены в большом количестве, тем самым уменьшая отбраковку биомассы в реакторе. По теории кинетического роста микроорганизмов – уравнение Моно, когда концентрация биомассы ( $X$ ) и предел роста микроорганизмов в растворимом субстрате увеличивается, скорость окисления также увеличивается [4, 5]:

$$r_{su} = -\frac{\mu_m XL}{Y(K_L + X)};$$

где  $r_{su}$  – скорость окисления субстрата (изменение их концентрации);  $L$  – концентрация субстрата;  $X$  – концентрация биомассы (микроорганизма);  $K_L$  – константа полунасыщения, равна концентрации субстрата, при которой скорость процесса равна  $\frac{\mu_m}{2}$ ;  $\mu_m$  – максимальная удельная скорость роста;  $Y$  – коэффициент превращения субстрата в биомассу;

Кроме того, для процесса биологической нитрификации – денитрификации, увеличивается константа полунасыщения для микроорганизмов *Nitrosomonas* ( $K_m$ ) и *Nitrobacter* ( $K_b$ ) в условиях увеличения концентрации ила с применением материала. В этом случае скорость удаления азота увеличивается [5].

$$\text{Для Nitrosomonas: } K_m > \frac{\Delta S}{St_A} \left( 1 + \frac{X}{X_s} \right);$$

$$\text{Для Nitrobacter: } K_b > \frac{\Delta S}{St_A} \left[ 1 + \frac{Y}{([f(X)]_s - X_e)} \right];$$

где  $\Delta S$  – прирост ила;  $t_A$  – длительность пребывания смеси ила и воды в реакторе;  $f$  – масса нитритов, продуцируемых в расчете на 1 мг окисленного азота аммиака;  $X_s$  – концентрация субстрата, обеспечивающая максимальную скорость роста, равная концентрации азота аммиака в поступающей воде;  $X_e$  – концентрация азота аммиака в выходящей воде.

### **Результаты эксперимента – применение биологического загрузочного материала PVA Gel**

В настоящее время на 90% работающих станциях очистки сточных вод в крупных городах Вьетнама применяется технология со взвешенной биомассой [6]. Качество очищенных сточных вод по взвешенным веществам и органическим загрязнениям на станциях, как правило, ниже требуемого, а качество сточных вод по биогенным элементам не удовлетворяет требуемым условиям, которые определены документом «Стандарт А» - качество очищенных вод Вьетнама [7]. Сравнение качества поступающих и очищенных сточных вод с нормативными данными России и Вьетнама приведены в табл. 1.

Качество сточных вод Вьетнама

Параметры	Поступающие сточные воды на станциях Вьетнама	Сточные воды после очистки	Стандарт А Вьетнама	САНПиН 2.1.5.980-00
ВВ, мг/л	130 - 200	35	50	5 – 6
БПК, мг/л	100 - 250	20	30	3
ХПК, мг/л	150 - 300	45	50	30
N-NH <sub>4</sub> , мг/л	50 - 100	25	5	0,39
P-PO <sub>4</sub> , мг/л	50 - 75	15	6	0,25

Таким образом, для увеличения эффективности очистки сточных вод, проведены эксперименты моделирования процесса биологической очистки бытовых сточных вод Вьетнама с применением биологического грузочного материала PVA Gel в лаборатории. PVA Gel представляет собой биологический носитель из поливинилового спирта, используемый в качестве грузочного материала для улучшения эффекта очистки сточных вод. Шар PVA Gel имеет диаметр 4 мм и удельную плотность 1,025 г/л с содержанием твердых веществ около 10% (рис. 2.1, 2.2). Шар имеет пористую структуру - сеть диаметром 20 мкм (рис. 2.3) [8].



Рис. 2. Материал PVA Gel – новый, после 1 месяца эксплуатации и внутренняя структура

Были использованы 2 бака с емкостью 6 литров – 1 без материала и 1 с 500 мл материала с активным илом. Адгезия активного ила на материале PVA GEL рассчитана по формуле

$$M = \frac{([m]_X - m_0) - (m_{GelX} - m_{Gel0}) \cdot V}{V_{Gel}}$$

Количество активного ила для адгезии в пластических материалах:

$m_0, m_X$  - Концентрация активного ила в реакторе без материала в точке 0 ч и X ч

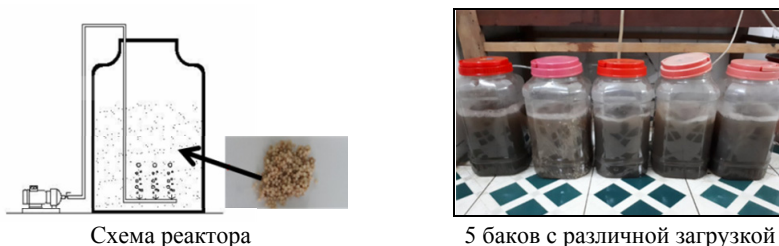


Концентрация активного ила в реакторе с материалом в точке 0 ч и X ч:

$V$  – объем активного ила в реакторе

$V_{Gel}$  – объем материала в реакторе

Подача бытовых сточных вод при условии увеличения БПК каждого бака проходило в режиме: 0,24; 0,38; 0,5; 0,76; и 1,1 г БПК/г активного ила за сутки. Проведены анализы качества очищенных вод для вычисления эффективности очистки материала PVA Gel



**Рис. 3.** Эксперимент биологической очистки сточных вод с материалом PVA Gel

## Результаты

### 1. Адгезия активного ила на поверхности материала

Количество активного ила, который был прикреплен к материалу в процессе эксперимента показано в табл. 2

Таблица 2

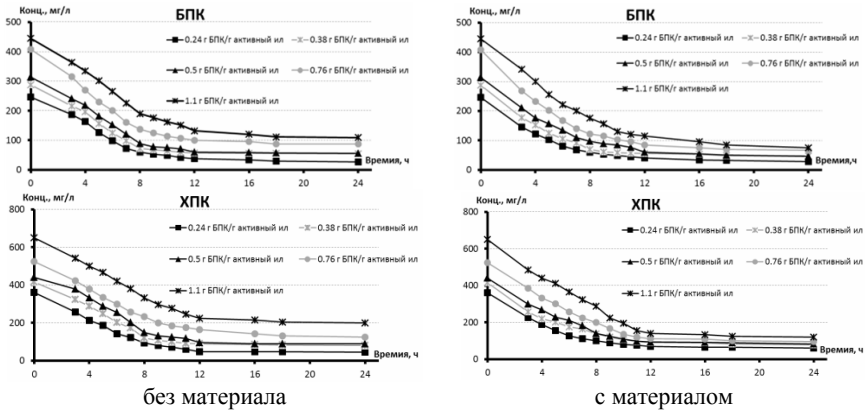
**Количество активного ила в материале**

№	Бак	Концентрация активного ила, мг/л				Количество активного ила, мг/л материал		
		0 ч	12 ч	24 ч	36 ч	$M_{12}$	$M_{24}$	$M_{36}$
1	без материала	780	990	902	870	-	-	-
2	с материалом	859	942	904	878	1160	811	727

Максимальная концентрация активного ила получена на поверхности материала – 1160 мг/л при работе реактора в течение 12 часов. Наблюдается уменьшение концентрации при увеличении времени обработки сточной воды в реакторе. Следует отметить, что после добавления новой порции сточной воды рост микроорганизмов на поверхности материала возобновляется.

### 2. Оценка применения PVA Gel в процессе биологической очистки сточных вод

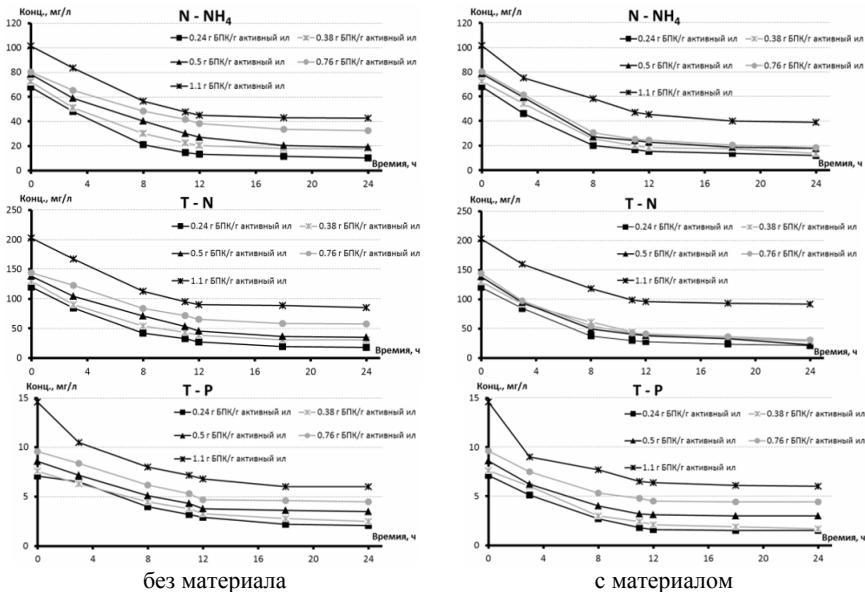
Процесс очистки органических веществ представлен следующими графиками:



**Рис. 4.** Графики зависимости концентрация органических веществ от времени очистки сточных вод

Согласно представленным графикам, эффективность очистки сточных вод в баке с использованием материала увеличивается на 20% - 40% в диапазоне 0 ч – 8 ч обработки сточных вод. Концентрация BPK и ХПК в баке с материалом стабилизируется в точке, соответствующей 10 часам обработки воды, что быстрее на 2 часа, чем в баке без материала.

Процесс очистки сточных вод от биогенных элементов:



**Рис. 5.** Графики зависимости концентрация биогенных элементов от времени очистки сточных вод

Процесс удаления фосфатов из сточных вод в данном эксперименте не зависит от наличия или отсутствия загрузочного материала. Однако, наблюдалось, что при увеличении нагрузки по БПК от 0,76 до 1,1 г БПК/г активного ила, скорость удаления фосфатов увеличивалась на 50% в диапазоне 0 – 3ч. Для процесса удаления азота отмечено совпадение концентраций N – NH<sub>4</sub> и T – N при нагрузке в двух баках на активный ил – 1,1 г БПК/г а. ила. При средних и малых нагрузках на активный ил скорость удаления и эффективность очистки увеличивается. При загрузке бака с материалом изменяется от 0,38 – 0,76; скорость удаления всегда стабилизация и эффективности очистки более чем бака без материала близи 40%.

### Выводы

Применение биопленки в сооружениях биологической очистки сточных вод для улучшения эффективности очистки является актуальным решением вопроса реконструкции станций очистки сточных вод в развивающейся стране, когда расход бытовых сточных вод зависит от социальных и экономических факторов.

В настоящее время применение биологических загрузочных материалов очень разнообразно и в зависимости от вида, конструкции и характеристик сооружения может применяться как в аэротенках, так и в окислительных каналах. Применение материала PVA Gel способствует увеличению скорости удаления азота и фосфатов при средних и малых нагрузках по БПК на активный ил.

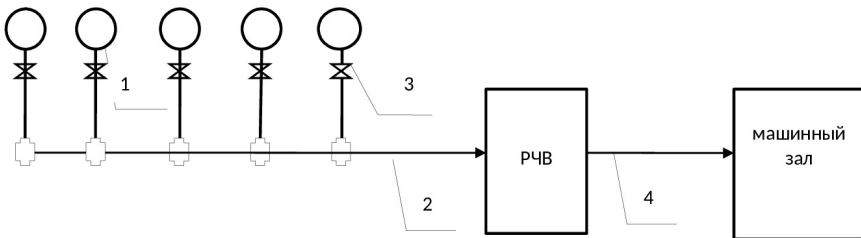
### Библиографический список

1. Sofia Andersson. Characterization of Bacterial Biofilms for Wastewater Treatment// Royal Institute of Technology School of Biotechnology. 2009.
2. Jillian Kloc, Isabella Mendoza González. The Study of Biological Wastewater Treatment through Biofilm Development on Synthetic Material vs. Membranes// Faculty of Worcester Polytechnic Institute. 2012.
3. PVA-gel beads for immobilization of microorganisms [Электронный ресурс]. – М.: ОАО Kuraray, – Режим доступа: <http://tgwateradditives.com/documents/PVA-gel-beads-English.pdf> свободный.
4. Metcalf & Eddy, Inc. 6. Wastewater engineering treatment and reuse (Fourth Edition)// The McGraw Hill Companies 2003. Chapter 7, 580с.
5. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. 7. Биохимические процессы в очистке сточных вод // 1980. 136 с.
6. Vietnam Urban Wastewater Review Executive Summary)// The World Bank, Australian Aid, 2013. 32 с. – Режим доступа: <http://documents.worldbank.org/curated/en/715941468320695559/Performance-of-the-wastewater-sector-in-urban-areas-a-review-and-recommendations-for-improvement>
7. National technical regulation on domestic wastewater// QCVN 40: 2010/BTNMT/ HaNoi 2008
8. PVA – Gel Bioreactor/Kuraray Aqua Co., Ltd. – Режим доступа: <http://www.kuraray-aqua.co.jp/en/product/pvage.html>

## ВЫБОР РАСПОЛОЖЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ЗАБОРА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

**В.И. Щербаков**, д.т.н, проф., каф. гидравлики, водоснабжения и водоотведения, Воронежский государственный технический университет (ВГТУ); **И.Ю. Пурусова**, ассистент, каф. гидравлики, водоснабжения и водоотведения, Воронежский государственный технический университет (ВГТУ), г. Воронеж

Одной из причин снижения производительности водозаборных сооружений из подземных источников, является способ подачи воды от скважин в сборный водовод (рис. 1), который является передающим звеном режимных возмущений одной группы скважин на другие. Выбор схемы подача воды в РЧВ определяются на основании расчета совместной работы элементов системы скважина – погружной насос – сборный водовод – РЧВ (резервуар чистой воды). Как показали исследования [1, 2] суммарная фактическая производительность насосов меньше номинальной, которую могли бы развивать насосы, работая отдельно на сборный водовод. Повышение тарифов за электроэнергию предполагает всё больше внимания уделять вопросам энергосбережения, а также искать новые энергосберегающие технологии [1-2, 5-15] и способы их внедрения.



**Рис. 1.** Схема подключения напорных трубопроводов в отдельные узлы сборного водовода

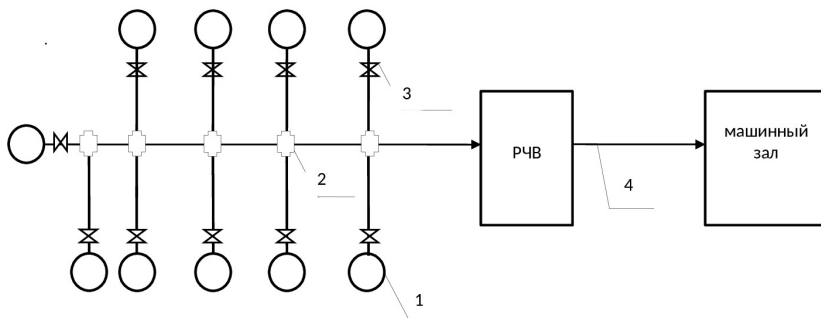
1 – скважины с погружными насосами; 2 – сборные узлы; 3 – запорно-регулирующая арматура; 4 – напорный трубопровод

Целью настоящих исследований является улучшения схемы водозаборных сооружений из подземных источников, путём усовершенствования существующих схем [3-4] подачи воды в РЧВ. Актуальной является задача повышения производительности погружных насосов и снижения затрат на потребление энергетических ресурсов, для эффективной и надежной эксплуатации водозаборных сооружений.

Схема расположения водозаборных сооружений из подземных источников (рис. 1) и является наиболее распространённой в практике строительства и эксплуатации [4-5]. Показан линейный ряд скважин, который подключается к сборному водоводу при укладке его в одну нитку.

Вода из водоносного пласта поступает в скважины 1, откуда с помощью погружных насосов (типа ЭЦВ), подаётся по напорным трубопроводам 2 в сборный водовод 3. Далее вода направляется в РЧВ.

Другая схема расположения водозаборных сооружений приведена на рис. 2, здесь характерна подача воды из скважин в общие узлы сборного водовода, от нескольких скважин.



**Рис. 2.** Схема подключения напорных трубопроводов в один узел сборного водовода

1 – скважины с погружными насосами; 2 – сборные узлы;  
3 – запорно-регулирующая арматура; 4 – напорный трубопровод

Такая схема подача воды в сборный водовод приводит к «передавливанию» одной части насосов другой, более мощной, с переходом на нестабильные режимы работы.

При таких схемах подключения (рис. 1, 2) напорных трубопроводов в сборный водовод и значительном различии марок погружных насосов увеличивается сопротивление потока в сборном водоводе и уменьшается подача воды от отдельных скважин. Требуется подбор оптимальных длин и диаметров для напорных трубопроводов и участков сборного водовода. Подача воды по таким схемам приводит к снижению количества поступающей воды в РЧВ по сравнению с ожидаемыми значениями.

Подобные негативные проявления при работе водозаборных сооружений обусловлены несколькими причинами. Первая – подача воды в РЧВ от нескольких скважин в сборный водовод, который гидравлически связан со всеми скважинами и является передающим звеном одной группы скважин на другие. Вторая – в такой (зависимой) схеме сборный водовод выступает не только как передающее, но и как тормозящее звено. При этом соответствующая часть насосного оборудования отклоняется от оптимальных режимов в сторону увеличения затрат электроэнергии.

Анализ данных [1-2, 5, 9-10], отражающих работу оборудования в условиях переменных величин подачи и напора, показывает, что большую часть времени насосные агрегаты отклоняется от оптимальных режимов в сторону увеличения затрат электроэнергии. Суммарная производительность

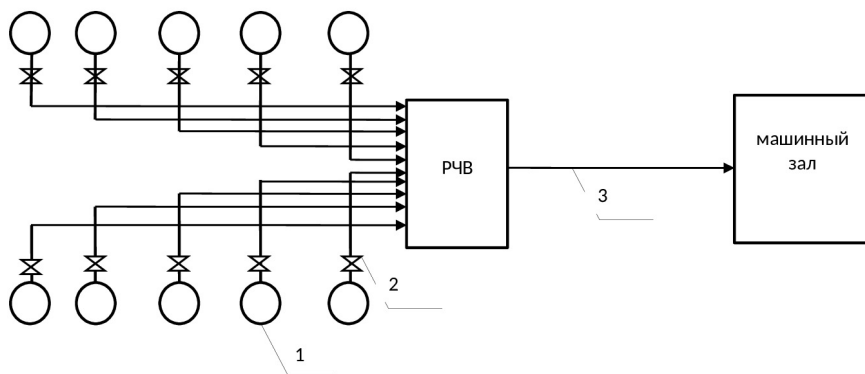
ность погружных насосов ( $Q_n$ ) работающих на сборный водовод ниже фактической производительности ( $Q_{\text{факт. н}}$ ) определенной по паспортным данным насосов. Например фактическая и номинальная подача воды погружными насосами от 10 скважин составляет  $Q_{\text{факт. н}} = 705 \text{ м}^3/\text{ч}$  и  $Q_n = 960 \text{ м}^3/\text{ч}$ , соответственно. Происходит снижение количества поступающей воды в РЧВ по сравнению с ожидаемыми значениями.

Отклонение фактических параметров насоса от номинальных влечёт за собой изменение КПД. Количество электроэнергии, теряемой из-за работы насосных агрегатов с фактическим КПД ( $\eta_{\text{факт}}$ ), отличающимся от номинального значения КПД ( $\eta_{\text{ном}}$ ), определяется по формуле:

$$\Delta W = \frac{\gamma Q H}{102 \eta_{\text{ном}}} \left( \frac{\eta_{\text{ном}}}{\eta_{\text{факт}}} - 1 \right), \text{ кВт/год} \quad (1)$$

где  $H$  – напор, м;  $\gamma$  – удельный вес воды,  $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $t$  – время работы насоса в год, 8760 час.

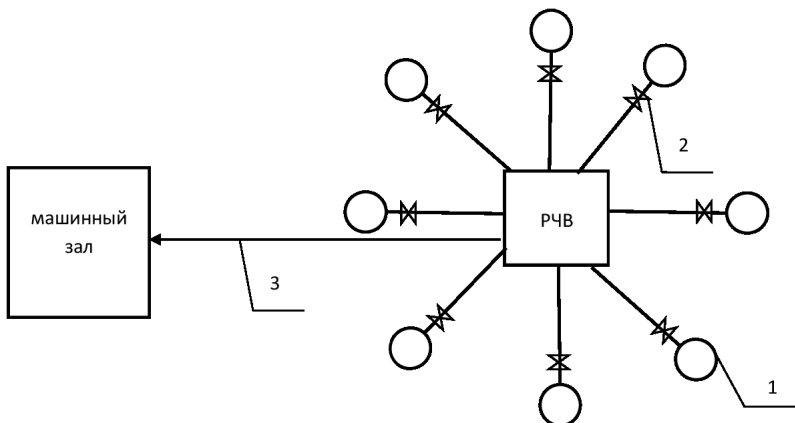
Исследование работы водозаборных сооружений позволило установить показатели для выбора независимых схем. Наиболее предпочтительной представляется схема подачи воды в РЧВ по отдельным напорным линиям (рис. 3, 4), в которой исключено взаимное влияние режима работы отдельных скважин. Погружные насосы в системе могут быть настроены на собственный энергетически оптимальный режим функционирования водозаборных сооружений.



**Рис. 3.** Схема подачи воды в РЧВ по отдельным напорным линиям расположенным перпендикулярно от РЧВ

- 1 – скважины с погружными насосами; 2 – запорно-регулирующая арматура;  
3 – напорный трубопровод

Более предпочтительной представляется схема водозаборных сооружений с преимущественным расположением скважин вокруг РЧВ (рис. 4). Это схема менее металлоёмкая.



**Рис. 4.** Схема подачи воды в РЧВ по отдельным напорным линиям расположенным радиально:

- 1 – скважины с погружными насосами;
- 2 – запорно-регулирующая арматура;
- 3 – напорный трубопровод

Экономический анализ схемы подачи воды в РЧВ по отдельным напорным линиям производится по соотношению объемов строительных работ и стоимости труб в сравнении с рассматриваемыми выше схемами. Таким образом, проектирование водозаборных сооружений из подземных источников проводится с обязательным построением и анализом характеристик совместной работы насосов и сборного водовода. При реконструкции существующих водозаборных сооружений следует учитывать, что такая схема потребует больших капитальных затрат по прокладке напорных трубопроводов. Необходимо определение границ наиболее эффективного использования насосных агрегатов [9] и, соответственно, выбора диаметров труб. В связи с этим при оптимизации работы водозаборных сооружений необходим сравнительный расчёт потребления электроэнергии в системе до и после проведения предполагаемых мероприятий, с учётом подключения новых скважин, изменения уровня подземных вод, гидравлического сопротивления сборного водовода.

Правильный подбор погружных насосов с учётом совместной работы системы скважина – погружной насос – сборный водовод – РЧВ должен осуществляться с учётом расхода электроэнергии на подъём и транспортирование воды. При разнотипных насосных агрегатах следует правильно перераспределять нагрузку между ними и выявлять границы их выгодного использования во всём диапазоне изменения подач. Повышение энергетически эффективной работы водозаборных сооружений с отдельными напорными линиями подачи воды в РЧВ должно оцениваться на основании сравнения общего расхода электроэнергии в системе с учетом стоимости отдельных напорных линий. Рациональное использование энергоресурсов

является путём снижения затрат на электроэнергию. Рациональное использование энергоресурсов является путём снижения затрат за электроэнергию.

#### Библиографический список

1. Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Пути повышения производительности водозаборных сооружений подземных вод // Яковлевские чтения: сборник докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН С.В. Яковлева. НИУ МГСУ. 2017. С. 248-252.
2. Щербаков В.И., Лазарев Н.В., Пурусова И.Ю., Борисов Д.Ю. К вопросу совместной работы насосов водо-подъемных станций с учетом гидравлических и энергетических параметров // Научный вестник воронежского госу-дарственного архитектурно-строительного университета. Серия: инженерные системы зданий и сооружений. 2003. 1. С. 126-128.
3. Алексеев В.В., Сердюк Н.И. Рациональный выбор средств для подъема воды (раствора) по гидрогеологическим скважинам. М.: МГПУ, 2005. 213 с.
4. Тугай А.М. Расчёт и конструирование водозаборных узлов // Киев: Будевельник, 1978. 160 с.
5. Щербаков В. И., Акульшин А. А. Водозаборные сооружения из подземных источников. LAP Lambert Academic Publishing, 2017. 192 с.
6. Щербаков В.И., Пурусова И.Ю. Исследование работы системы водозаборная скважина - сборный водовод // Энергосбережение и водоподготовка. 2017. № 2 (106). С. 27-32.
7. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. М.: Стройиздат, 1986. 320 с.
8. Пурусова И.Ю. Современные проблемы управления работой водозабора // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 7-2. С. 379-383.
9. Панов М.Я., Пурусова И.Ю., Щербаков В.И. Моделирование потокораспределения и управление водоподъёмными станциями // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2007. Т. 3. № 6. С. 182-185.
10. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый электропривод в насосных и воздуходушных установках – М.: Энергопромиздат, 2006. С.360
11. Сердюк Н.И. Оптимизация процесса эксплуатации водозаборных скважин // Экологические системы и приборы. 2005. № 3. С. 8-11.
12. Nool P. Determining the real cost of powering a pump // World pumps, 2008, Issue 496, pp. 32-34.
13. Vogelesang Hans. An introduction to energy consumption in pumps // World pumps. 2008, Issue 496, pp. 28-31.
14. Wharton S.T.; Martin P.; Watson T.J. Pumping stations: design for improved buildability and maintenance. London: Construction Industry Research and Information Association, CIRIA Report, №182, 1998, 99 p.
15. Glover A. Oversizing pump motors – the problems // World Pumps. July, 2007. PP. 34-38.



## ЭЙХОРНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДРЕНАЖНЫХ ВОД

**В.И. Щербаков**, д.т.н, проф., каф. гидравлики, водоснабжения и водоотведения, Воронежский государственный технический университет (ВГТУ); **Б. Кулмедов**, аспирант, каф. гидравлики, водоснабжения и водоотведения, Воронежский государственный технический университет (ВГТУ), г. Воронеж; **К.И. Чижик**, к.т.н., доц., каф. водоснабжения и водоотведения, НИУ МГСУ, г. Москва

В последнее время в странах бассейна реки Амударья наблюдается деградация водопользования, при возрастании антропогенной нагрузки на водные источники. Водный дефицит в Центральной Азии приводит к неизбежности повторного использования воды и поиска новых ресурсов.

Быстрый темп развития промышленности, рост сельского хозяйства, значительное расширение площадей орошаемых земель, улучшение культурно-бытовых условий и ряд других факторов все больше усложняет проблемы обеспечения водой потребителей. В данном регионе наибольшее количество сточных вод поступает с орошаемых сельскохозяйственных площадей.

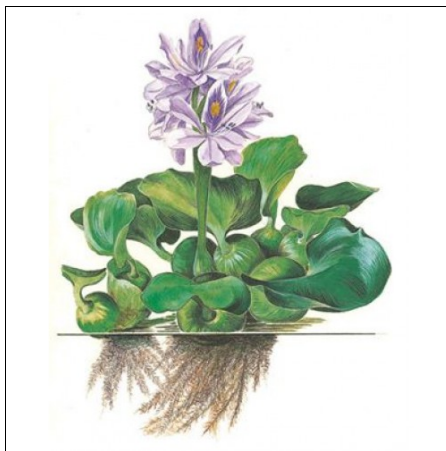
В существующих водоёмах со временем происходит процесс их самоочищения, благодаря обитающим в них микроорганизмам и водным растениям. Они постепенно разрушают попавшие в воду органические загрязнения. Существует множество известных растений, очищающих воду в естественных условиях в болотах, прудах и озерах.

При очистке дренажных вод в Центральной Азии чаще всего используют такие виды высших водных растений (ВВР), как камыш, тростник озерный, рогоз узколистный и широколистный, курчавый и пр. Тем не менее, очистка дренажных вод с помощью эйхорнии получила новое развитие, при этом все вышеуказанные растения уступают в продуктивности водному гиацинту (эйхорнии).

Эйхорния это многолетнее водное растение семейства понтедериевых, надводная часть которого состоит из листьев и цветка, напоминающего гиацинт. На родине, то есть в тропических районах Америки эйхорния размножается вегетативным и семенным путем, но вегетативное размножение преобладает. Вестественных условиях Центральной Азии размножение эйхорнии вегетативное [1]. В воде находятся нитевидные корни, опушённые ресничками, между которыми и происходит процесс очистки воды от загрязняющих веществ (рис. 1). Растение усваивает из воды неорганический углерод карбонатов, минеральные соли, аминокислоты и некоторые другие вещества [2]. Эйхорния любит теплую погоду, солнечные дни и начинает погибать при температуре ниже +16 °С.

Отличительная черта эйхорнии в том, что это растение окисляет и расщепляет примеси в воде на простые элементы с большой скоростью и усваивает их как питание. Роль окислителя выполняет кислород, который в избытке вырабатывается растением. Общеизвестно, что большинство химических элементов в стоках находятся в соединениях. Транспирация рас-

тений повышается с возрастанием температуры стоков и окружающего воздуха и способствует росту и интенсивности размножения растений, что ещё более увеличивает извлечение питательных для них веществ из очищаемых стоков. Эйхорния в естественных условиях обитает в странах с тропическим и субтропическим климатом. Хорошо размножается как в стоячих, так и в проточных водоемах [2].



**Рис. 1.** Типичный вид эйхорнии

Площадь орошаемых земель в бассейне реки Амударья сегодня периоду превысила 6 млн. га, причем около 90% ирригации осуществляется по бороздам [7]. На орошаемых землях большее 50% занимает хлопчатник, на который при бороздовом поливе расходуется около 4000 м<sup>3</sup>/га [8].

Минерализованные дренажные воды с орошаемых площадей поступают в коллекторные дрены. Около 92 % от общего возвратного стока приходится на сельскохозяйственные дренажные воды. Почти все дренажные воды каналов, не подвергаясь очистке, попадают в Амударью, либо в естественные пониженные территории в пустынях. Согласно статистическим оценкам, около 140млн. т различных солей ежегодно сбрасывается в дренажные воды, из них 75 % поступает вместе с оросительными водами, а 25 % представляют дополнительные соли, вымываемые из почвы [9].

Дренажные воды с орошаемых территорий составляют около 30-35% от общего расхода на полив. Эти воды не используются повторно в орошении сельскохозяйственных площадей. Тем не менее, фермеры в трудных погодных ситуациях вынужденно поливают эти территории дренажной водой, которая в результате приводит к засолению почв. Для того, чтобы предотвратить засоление почвы и сэкономить потребление воды на орошение сельскохозяйственных земель необходимо повторное использование дренажных вод после их очистки.

Очистка большого количества минерализованных вод на очистных сооружениях очень дорогостоящее и практически неосуществимое дело. Поэтому наиболее перспективным является очистка дренажных вод в естественных условиях.

Экспериментальные исследования в Казахстане показали, что природные условия благоприятны для выживания эйхорнии. Эксперименты проводились на сточной воде из биопрудов доочистки хозяйственно-фекальных вод. Определялся химический состав исходной воды и качество воды в ёмкости с помещенными туда растениями эйхорнии, в течении 10 дней. Результаты экспериментов показаны в табл. 1 [3, 4].

Таблица 1

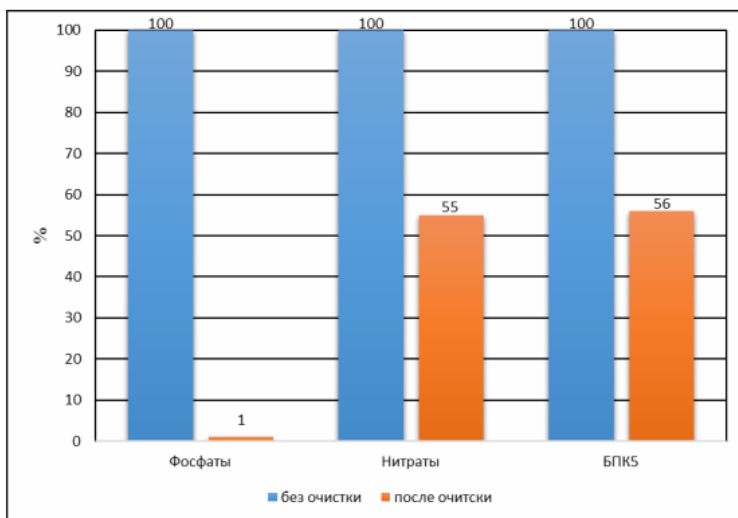
**Результаты очистки сточных вод эйхорнией**

Показатели	Очистка сточных вод эйхорнией г. Алматы (10 дней)		
	Без очистки	После очистки	Эффективность (%)
Жесткость, мг-экв/л	9	7	25
Кальций, мг/л	85,16	59,11	35
Магний, мг/л	36,2	24,75	17
Гидрокарбонаты, мг/л	584,72	341,77	36
Сульфаты, мг/л	163,2	144	12
Сумма натрия и калия, г/л	228,5	212,25	7
Минерализация, мг/л	1203,68	1001,82	17
Нитраты, мг/л	3,3	1,1	45
Фосфаты, мг/л	11,5	0,08	99
БПК <sub>5</sub> , мг.О <sub>2</sub> /л	25	14	44
Нефтепродукты, мг/л	0,71	0,62	13
Железо, мг/л	1,795	1,12	38
Никель, мг/л	0,1014	0,075	26

После очистки сточной воды с использованием эйхорнии вода стала более светлой и без запаха. Как видно из табл. 1 и рис. 2 наиболее высокая эффективность наблюдалась в отношении фосфатов, нитратов, БПК<sub>5</sub> и др.

Аналогично, как и все плавающие на поверхности водные растения, эйхорния с помощью листьев использует для фотосинтеза углекислый газ воздуха. Вегетативное размножение эйхорнии отличается очень высокой скоростью. Одно растение за 50 сут. может образовать до 1 тыс. отростков, каждый из которых также вегетирует. Поэтому за 3 месяца одно растение дает миллион потомков, а за полгода – до триллиона отростков. Таким образом, за один вегетационный период в бассейне реки Амударья в том чис-

ле на юге России может быть получено от 150 до 500 тонн биомассы эйхорнии с одного гектара водоема [5].



**Рис. 2.** Эффективность очистки сточных вод эйхорнией

Кроме того, покрытая эйхорнией поверхность водоема будет способствовать уменьшению испарения воды, которое является одной из главных причин потерь воды в Центральной Азии [6].

После очистки дренажных вод в водоеме или в отдельных биопрудах эйхорнию можно использовать для производства кормов. Одна тонна зеленой массы эйхорнией содержит до 21 кг азота, до 60 кг калия, до 17 кг фосфора и до 26 кг белка с высоким содержанием незаменимых аминокислот, витаминов А, В, С и Е. Антибактериальное и антитоксическое действие эйхорнии позволяет уменьшить падеж молодняка и заболеваемость животных. Эйхорнию можно использовать как в свежем виде, так и после силосования. Возможно выделение биологически активных веществ эйхорнии с целью использования как самостоятельных препаратов [5].

По данным Гидрометцентра России в Краснодарском крае температура воздуха выше +15 °С наблюдается более 2 месяца в течение года (рис. 3) [10].

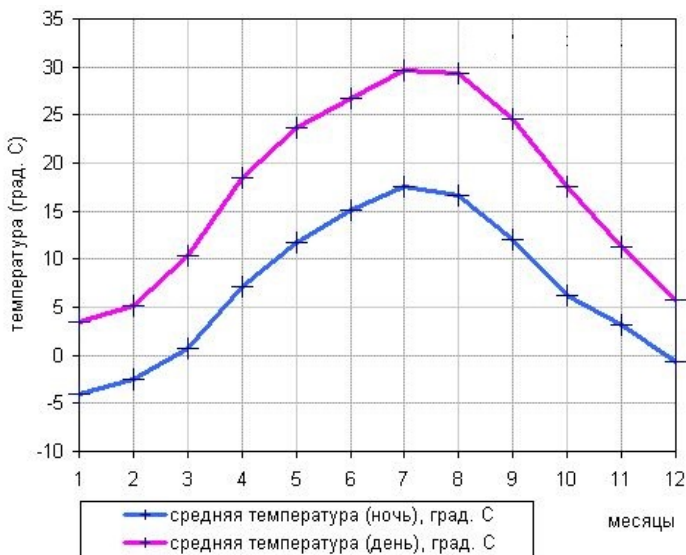
Таким образом, в течение 60-65 дней возможно получить 150 тонн биомассы эйхорнии с одного гектара водоема, которая будет содержать до:

$$21 \text{ кг/т} * 150 \text{ т/га} = 3150 \text{ кг/га N-NO}_3,$$

$$60 \text{ кг/т} * 150 \text{ т/га} = 9000 \text{ кг/га K}_2\text{O},$$

$$17 \text{ кг/т} * 150 \text{ т/га} = 2550 \text{ кг/га P}_2\text{O}_5,$$

$$26 \text{ кг/т} * 150 \text{ т/га} = 3900 \text{ кг/га белка}$$



**Рис. 3.** Среднемесячная температура воздуха для г. Краснодар

Перед использованием эйхорнии для приготовления кормов необходимо проанализировать, что в эйхорнии не накопились вредные вещества для животных. Кроме того, зеленую массу эйхорнии используют для получения бумаги и волокна, возможно также использование её для получения биотоплива.

#### Библиографический список

1. Раимбеков К.Т. Морфо-биологическая характеристика эйхорнии отличной в условиях интродукции // Наука, новые технологии и инновации. – 2009. – №. 10. – С. 36-38.
2. Дмитриева Н.Г., Эйвор Л.О. Роль макрофитов в превращении фосфора в воде. Водные ресурсы. 1995. № 5. С. 101-110.
3. Джакупова И.Б., Султангазиева Г.С., Божбанов А.Ж. Биологический метод очистки сточных вод. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс, № 1, 2014, с.113-117.
4. Кучинская Е. А., Финогенова Н. С. Опыт применения эйхорнии для доочистки сточных вод НА ОСК города Лабинска // Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. – 2013. – С. 137-140.
5. Козлов В. А. и др. Получение и использование биомассы высших водных растений // Программный комитет ISS «SI-2009». – 2009. – Т. 18. – С. 332-336.

6. Н.С. Орловский, З.Н. Шошкина, Агроклиматические ресурсы Туркменской ССР. Главное управление гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР. Управление гидрометеорологической службы Туркменской ССР. Ашхабадское бюро погоды. – Гидрометеоиздат, Ленинград, 1974, 244 с.

7. Кулмедов Б.М., Щербаков В.И. К рациональности сельскохозяйственного водопользования в бассейне Амударьи / Б.М. Кулмедов, В.И. Щербаков // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Высокие технологии. Экология. Воронеж, 2015. С. 133-137.

8. Нарбаев М., Исмаилова Г. К., Нарбаева К. Т. Экологические вопросы орошаемого земледелия в Центральной Азии. Международный форум «Инженерное образование и наука в XXI веке: Проблемы и перспективы» посвященный 80-летию КазНТУ им. К.И.Сатпаева. 22-24 октября, Алматы-2014, с 627-633.

9. Кийне, Якоб В. Инициатива бассейна Аральского моря: сводный отчет. IPTRID FAO, 2006. 80 с.

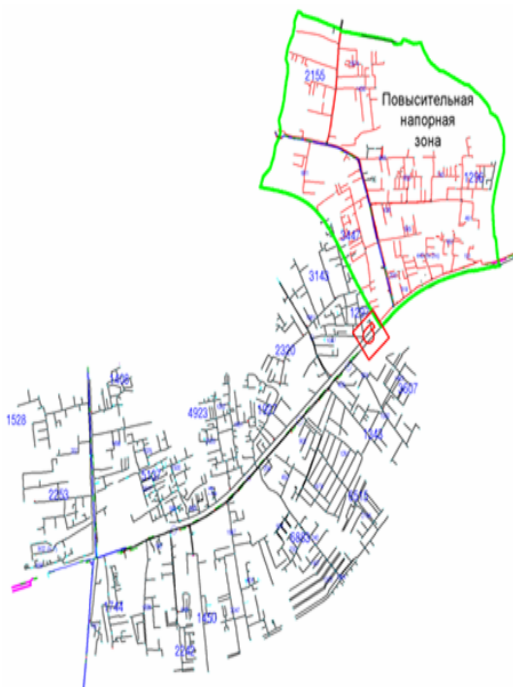
10. Ежемесячные климатические данные для городов России (1961-1990 гг.). Электронный ресурс. URL: <https://meteoinfo.ru/> (дата обращения: 10.03.2018).

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. ХОШИМИН

**В.И. Щербаков**, д.т.н., проф., каф. гидравлики, водоснабжения и водоотведения, Воронежский государственный технический университет (ВГТУ); **Нгуен Хюи Кыонг**, аспирант, каф. гидравлики, водоснабжения и водоотведения, Воронежский государственный технический университет (ВГТУ), г. Воронеж

Экономическое обоснование замены индивидуальных емкостей на муниципальные резервуары требует проведения оценки стоимости в конкретной сети водоснабжения, для сравнения затрат между двумя вариантами работы сети с индивидуальными емкостями и муниципальными резервуарами для воды [1].

Зона низкого давления обусловлена тем, что с 6 до 22 часов напор воды составляет менее 10 м, и не удовлетворяет потребностей жителей в подаче воды. В зоне низкого давления, выделенной на рисунке 29, насчитывается 9072 семьи, в среднем четыре человека в каждой семье (норма хозяйственно-питьевого водопотребления на 1 жителя в районе принята 250 л/сут). Следовательно, потребуется 9072 бака и столько же насосов для заполнения баков водой.



**Рис. 1.** Схема водоснабжения г. Хошимин

Выбираем расположение повысительной насосной станции (ПНС), как показано на рисунке и устанавливаем датчик давления для ЧРП (частотно-регулируемый привод) в диктующей точке J-98, при условии, что напор в этой точке не менее 10 м [2].

Для выбора наиболее экономичного решения из имеющихся вариантов рассмотрим стоимости жизненного цикла ПНС и индивидуальных резервуаров воды (на 10 летний период) (табл. 1).

Таблица 1

### Сравнение затрат на устройство ПНС и индивидуальных резервуаров воды

	ПНС	Повысительная насосная станция (ПНС)			Индивидуальные резервуары воды				
		Марка	1000 руб. с НДС	Количество	Сумма 1000	Марка	1000 руб. с НДС	Количество во	Сумма 1000 руб.
Сп - Первоначальные затраты (цена приобретения насосного оборудования с сопутствующими принадлежностями)	Насос	K150-125-315 (агрегат)	59,0	3	176,9	ВНХРБ АСВ-370/2Ч	3,4	9072	30481,9
	Электродвигатели	BA180M2	54,7	3	164,0				
	Частотно регулируемый привод	ATV950 30/22кВт 380В 3ф	125,4	3	376,2	-			
	Бак	-				1000 л	6,7	9072	60963,8
См – стоимость установки и пусконаладки	= Сп * 10%	-	10%(59,0+54,7+125,411)=22,541	3	71,7	-	10%(3,360+6,720)=1,008	9072	9144,6
Сэ – затраты на электроэнергию (Суточное потребление за 10 лет, кВт × ч)	электрический энергия	-	6	=199728*10	199728	-	6	54*9072*10=4898,8	29393,3
	электрический энергия с ЧРП (экономию электроэнергии в 30%)	-		=102527*10	8388,6	-			
Ср – стоимость ремонта и технического обслуживания;	нет данных для учета	-							-
Спл – эксплуатационные расходы	нет данных для учета	-							-
СЖЦ – стоимость жизненного цикла на 10 лет					9177,4				129983,6

Расходы на электроэнергию за год эксплуатации насосов рассчитываются по следующей формуле:

#### Затраты на электроэнергию ПНС:

ПНС имеет один насос работает 24 ч в сутки

КПД насоса, %, не менее : 76

Мощность электродвигателя = 30 кВт

$$\Theta = 30 \times 365 \times 24 \times 0,76 = 199728 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Если частотно-регулируемым приводом (ЧРП) оснастить двигатели насосов, тогда можно добиться экономии электроэнергии более чем в 30%.

#### Затраты на электроэнергию населения:

КПД насоса, %, не менее : 80

Мощность электродвигателя = 0,37 кВт

$$\Theta = (0,37 \times 365 \times 0,5 \times 0,8) \times 9072 = 490069 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$



Индивидуальные насосы работают 0,5 ч в сутки.

В масштабе квартала, с проживанием 9072 семей, разница в потреблении электроэнергии составит  $490069 - 199728 = 290341$  кВт.ч./год, а если в городе проживает более 2 миллионов семей, то расход электроэнергии сокращается более чем на 50 млн кВт.ч./год, а экономический эффект составит 300 млн руб./год.

Кроме того, экономический эффект можно получить от применения новых методов гидравлического расчёта сети.

При сравнении схемы водоснабжения расчетного квартала района Тху Дык перед и после энергетического эквивалентирования сети водоснабжения, видно, что количество участков уменьшается в 10 раз, т.е. когда начальная схема включала более 1200 участков, то после упрощения осталось меньше 120 участков с диаметром труб от 50 до 150 мм (рисунки 12, 18). По аналогии, можно создать подробную упрощенную схему всего города, без необходимости отображать сотни тысяч участков.

Экономический эффект применения принципа энергетического эквивалентирования для гидравлического расчёта, можно ориентировочно определить по основным затратам в сравнении с традиционными методами расчета водопроводной сети (табл. 2).

Таблица 2

### Сравнение основных затрат двух принципов гидравлического расчета сети

Кол-во кварталов	Расчет классическим способом				Расчет по принципу энергетического эквивалентирования			
	Среднее кол-во участков	Затраты на программу WaterGEMS /расчет (USD)	Затраты на измерение напора за год (USD)	Затраты на регистраторы /монтаж (USD)	Среднее кол-во участков	Затраты на программу WaterGEMS /расчет (USD)	Затраты на измерение напора за год (USD)	Затраты на регистраторы /монтаж (USD)
1	1200	12850/150	400	13000/200	120	4950/15	40	1300/20
2	2400	14850/300	800	26000/400	240	4950/30	80	2600/40
3	3600	14850/450	1200	39000/600	360	7900/45	120	3900/60
4	4800	14850/600	1600	52000/800	480	7900/60	160	5200/80
5	6000	19800/750	2000	65000/1000	600	9900/75	200	6500/100
6	7200	19800/900	2400	78000/1200	720	9900/90	240	7800/120
...	...	...	...	...	...	...	...	...
9	10800	24750/1350	2400	78000/1800	1080	12850/135	240	7800/120
...	...	...	...	...	...	...	...	...
300	360000	24750/45000	2400	78000/60000	36000	24750/4500	240	7800/1200
Σ			<b>210150</b>				<b>38490</b>	

Эффективность применения метода энергетического эквивалентирования только при гидравлическом расчете всей сети города Хошимин позволит более чем в пять раз снизить финансовые затраты и материальные ресурсы.

## Библиографический список

1. Щербаков В.И., Проблемы водоснабжения крупных городов Вьетнама / В.И. Щербаков, Х.К. Нгуен // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2015. №2. С. 49–56.
2. Щербаков В.И., Принцип энергетического эквивалентирования для расчета сетей водоснабжения с множеством участков / В.И. Щербаков, Х.К. Нгуен // Вестник РУДН. Инженерные исследования. 2016. № 4. С. 27-34.
3. Nguyen H.C. The application efficiency of energy equivalence for hydraulic calculation of water supply networks / Shcherbakov V.I., Nguyen H.C., Chizhik K.I., Sung N.V., Thiep N.N., Nu H.T.T. // Modern engineering and innovative technologies. 2017, issue 2, vol. 2, P. 118-125.

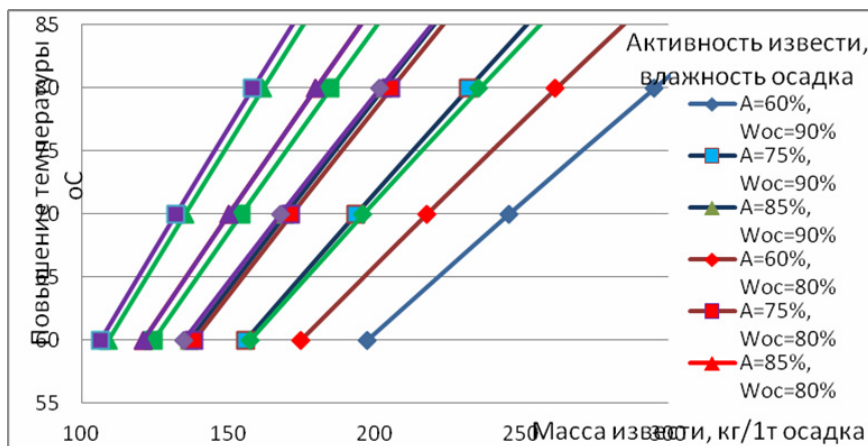
## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

**В.И. Щербаков**, д.т.н, проф., каф. гидравлики, водоснабжения и водоотведения, Воронежский государственный технический университет (ВГТУ); **В.В. Помогаева**, к.т.н., доц., каф. гидравлики, водоснабжения и водоотведения, Воронежский государственный технический университет (ВГТУ), г. Воронеж

Одним из перспективных методов обработки осадка сточных вод является известкование, которое позволяет значительно снизить содержание патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов. При добавлении негашеной извести, происходит реакция, имеющая экзотермический характер определяющая повышение щелочности, вследствие процесса гашения извести водой, содержащейся в осадке, увеличивается температура осадков. При введении дозы извести до 30% по сухому веществу осадка, происходит деформация и гибель яиц гельминтов, снижение микробов-маркеров до  $10^6$ , исчезновение бактерий сальмонеллы, вирусов практическое отсутствие яиц аскаридов. При повышении pH более 11 содержание колиформных бактерий снижается с  $10^9$  до  $10^3$  шт. на 1 г сухого вещества. Эффективность известкования зависит от состояния осадка - жидкого или обезвоженного.

Для стабилизации сырых осадков, количество извести должно составлять не менее 10% массы сухого вещества. Конкретная доза определяется в зависимости от метода обработки, температуры, продолжительности уплотнения и состава осадка.

Обработка обезвоженных осадков сточных вод негашеной известью (CaO), оказывает длительный эффект. При меньшем содержании воды в осадке, он более устойчив к развитию процессов кислого брожения.



**Рис. 1.** Определение массы извести при расчетной температуре нагревания

Теоретическое определение массы извести необходимой для обеззараживания осадка сточных вод различной влажности показано на рис. 1. Из графиков видно, что при активности 75% требуется меньшее количество извести [1,2].

При теоретическом расчете выявлена закономерность: на повышение температуры активность извести оказывает прямое влияние. Кроме того, на повышение температуры оказывает значительное влияние способ перемешивания осадка и извести. Смешение осадка и извести можно осуществлять с помощью шнековых насосов с плунжерными смесителями, лопастных смесителей, механических мешалок и другого оборудования. Перемешивание поддерживает взвешенные частицы осадка в виде суспензии.

Для химической обработки в осадок влажностью 95% вводили CaO в концентрации 10% и 20%, выдерживали образцы в закрытой емкости, регистрируя кинетику нагревания и осаждения (рис. 3). В результате эффективность обеззараживания составляет по яйцам гельминтов 75% при CaO 15% и 100% при CaO 20% [3].

Смешивание осадков сточных вод с негашеной известью содержащей 22,5-25,2% CaO в соотношении 5:1 позволяет повысить температуру смеси до 78-82 °С в течение 50-60 минут. Затем происходит снижение температуры до 45-50 °С. Для гибели яиц гельминтов и цист кишечных патогенных простейших, достаточно повысить температуру, более 55 °С, на несколько минут, что доказывает обеззараживающий эффект введения извести [2].

Стабилизация и обеззараживание осадков сточных вод возможна известью выпускаемой в разных товарных формах. Негашеная известь, представляет собой продукт кальцинации известняка, состоящая из оксидов кальция и магния [1].

Применение сухих реагентов значительно снижает затраты для их доставки и хранения, упрощает процесс дозирования. Установки для стабилизации осадка сухой известью более компактны по сравнению с установками с введением гидратированной извести. При стабилизации осадка негашеной известью, CaO поступает из резервуара-бункера и при помощи шнека тщательно перемешивается с илом.

Научно-производственный центр «Экология, эксплуатация, экспертиза водоснабжения и водоотведения» Воронежского государственного технического университета предлагает для обеззараживания осадка сточных вод применять препарат «Дезолак» (ТУ 2123-004-00121270-201) на основе негашеной извести и дополнительных добавок усиливающих дегельминтизирующее свойство препарата. В результате использования препарата, при соответствии химического состава требуемым нормам, осадки можно будет отнести к отходам V класса опасности (неопасные отходы), что позволит их применять в качестве удобрения для рекультивации нарушенных земель, полигонов, в озеленении.

Стабилизированный известью осадок, при определенных условиях может быть использован на сельскохозяйственных землях. Однако после такой обработки он содержит меньшее количество растворимых солей

фосфора, азота, и общего количества усваиваемых растениями веществ, чем сброженный осадок из первичных отстойников или его смесь с активным илом.

Совместно с Научно-исследовательским институтом сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы имени В.В. Докучаева проведены исследования по определению эффективности применения осадка сточных вод с Левобережных очистных сооружений г. Воронежа, и осадка сточных вод, обработанных дезинфицирующей добавкой «Дезолак» на плодородие почвы и продуктивность озимого рапса сорта Адриана (рис. 2) .



**Рис. 2.** Вид растений озимого рапса на почве удобренной осадком сточных вод обработанных препаратом Дезолак

Изучение интенсивности нарастания вегетативной массы озимого рапса свидетельствует, что в фазе развития пять настоящих листьев у рапса, сырая масса 100 растений на вариантах с внесением илового осадка существенно превышала массу растений на контрольном варианте (табл. 1). При наименьшей существенной разнице  $НСР_{05} = 196,0$  г, масса растений на варианте с применением обезвоженного илового осадка обработанного «Дезолаком» превышала контрольный вариант без внесения удобрений на 239,0 г, обезвоженного илового осадка (30% сырой осадок, 70% избыточный активный ил) очистных сооружений на 258,7 г [9].

То есть, применение органического удобрения в виде илового осадка сточных вод очистных сооружений дает существенную прибавку в повышении продуктивности тест культуры, в частности зеленой массы озимого рапса.

Определение содержания макроэлементов минерального питания в почве и реакции почвенной среды в период пяти настоящих листьев у рапса показало, что внесение органических удобрений в виде илового осадка по

сравнению с вариантом без внесения удобрений, приводит к повышению содержания в почве нитратного азота: при внесении илового осадка, обработанного «Дезолаком» на 1,5 мг/кг абс. сухой почвы или на 22,4%; илового осадка – на 0,8 мг/кг абс. сухой почвы или на 11,9% (табл. 2).

Таблица 1

**Наращение вегетативной массы растений, \*г, 2017 год**

Вариант	Повторение			Среднее	Отклонение, ±
	1	2	3		
Контроль	1685,0	1560,0	1634,5	1626,5	0,0
Иловый осадок, обработанный Дезолаком	1874,5	1932,0	1790,0	1865,5	+239,0
Иловый осадок	1793,0	1968,5	1894,0	1885,2	+258,7
НСР <sub>05</sub>					196,0

Примечание \* Сырая масса 100 растений в фазу 5 настоящих листьев

Таблица 2

**Содержание элементов минерального питания и реакция почвенной среды в слое почвы 0-20 см при применении илового осадка**

Вариант	Показатель			
	N-NO <sub>3</sub> *	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> **	K <sub>2</sub> O**	pHсол
Контроль	6,7	59,5	18,8	7,24
Иловый осадок, обработанный «Дезолаком»	8,2	57,0	22,3	7,35
Иловый осадок	7,5	64,0	22,3	7,27

Примечание: \* мг/кг почвы

\*\* мг/100 г почвы по Чирикову

Так же увеличивается содержания обменного калия на 3,5 мг/100 г абс. сухой почвы или на 18,6%. Содержание подвижного фосфора при внесении обезвоженного илового осадка увеличивается на 4,5 мг/100 г абс. сухой почвы или 7,6%, а при внесении илового осадка обработанного микробиологическим препаратом «Дезолак» практически остается на уровне контроля.

Применение илового осадка сточных вод обработанного «Дезолаком» несколько изменяет и реакцию почвенной среды в сторону повышения щелочности почвенного раствора на 0,11 pH по сравнению с контрольным вариантом.

Учет урожайности зеленой массы озимого рапса и статистическая обработка полученных результатов показала, что внесение илового осадка сточных вод очистных сооружений под основную обработку почвы, существенно увеличивает урожайность озимого рапса (табл. 3).

Урожайность зеленой массы озимого рапса, т/га (2017 г.)

Вариант	Повторение			Средняя	Отклонение, ±
	1	2	3		
Контроль	36,00	46,07	35,47	39,18	0,0
Иловый осадок, обработанный «Дезолаком»	48,47	51,20	41,47	47,05	+7,87
Иловый осадок	51,13	53,67	41,40	48,74	+9,56
НСР <sub>05</sub>					6,02

При проведении исследований по изучению эффективности применения илового осадка сточных вод с Левобережных очистных сооружений г. Воронеж, и илового осадка, обработанного дезинфицирующей добавкой «Дезолак» на плодородие почвы и продуктивность озимого рапса установлена высокая эффективность в повышении урожайности тест-культуры и плодородия почвы. Увеличение урожайности озимого рапса при внесении илового осадка сточных вод, обработанного «Дезолаком», с нормой 3,8 т/га, по сравнению с неудобренным фоном составляет 7,87 т/га или 20,1%. Применение просто обезвоженного илового осадка с нормой 4,45 т/га прибавка в урожайности составляет 9,6 т/га или 24,4 %.

Считаем целесообразным рекомендовать использование илового осадка сточных вод Левобережных очистных сооружений в сельскохозяйственном производстве, в виде органического удобрения для повышения плодородия почвы и продуктивности возделываемых зерновых и технических культур.

Иловый осадок, обработанный препаратом «Дезолак» наиболее эффективно использовать на почвах с кислой реакцией среды, и рекомендуется для применения как на зерновых и технических культурах, так и в овощеводстве.

В настоящее время, ужесточение российского законодательства в области охраны окружающей среды и ухудшающаяся экологическая обстановка, особенно в крупных городах, открывают новые перспективы использования извести.

В России использование извести, с целью обеззараживания осадков сточных вод регулируется методическим указанием МУ 3.2.1022-01, утвержденным Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 15 марта 2001 г. [7]. Согласно п. 6.5 этого документа известь может применяться в качестве коагулянта (при рН более 11) в процессе обезвоживания осадка на фильтр-прессах или вакуумных установках, а также при непосредственном смешивании обезвоженных осадков сточных вод с негашеной известью.

Сроки выдерживания осадка сточных вод на иловых площадках устанавливаются органами государственного санитарного надзора в каждом конкретном случае на основании результатов экспериментальных санитарно-паразитологических исследований [1-6].

## Библиографический список

1. Щербаков В.И., Помогаева В.В., Сухов С.С. Известкование как метод обеззараживания осадка сточных вод.// Российский инженер. Электронный научный журнал. № 2(5). 2016.- С. 32-37.
2. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод .-3-е изд., перераб. и доп.- М.: Стройиздат, 1988. - 256с.
3. Игнатенко А.В. Деконтаминация осадков сточных вод и методы ее контроля //Труды БГТУ. N4, 2016. - С 210-213.
4. СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почв».
5. Методические указания МУ 3.2.1022-01. Мероприятия по снижению риска заражения населения возбудителями паразитов: Методические указания. - М.: Минздрав России, 2001.-28 с.
6. Зуева С.Б., Зарцына С.С., Щербаков В.И. Экозащитные технологии систем водоотведения предприятий пищевой промышленности / СПб.: Проспект науки, 2012. – 32 с.
7. Отчет о результатах производственных испытаний осадка сточных вод с Левобережных очистных сооружений г. Воронеж, обработанных дезинфицирующей добавкой «Дезолак». ФГБНУ НИИСХ ЦЧП. Каменная Степь – 2017. 20 с.